



Ana Patrícia Antunes Santos Silva

Licenciada em Ciências de Engenharia do Ambiente

Valorização do Efluente Tratado da Indústria Papeleira em Usos Compatíveis

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia do Ambiente – Perfil de Engenharia Sanitária

Orientador: Prof. Doutor António Pedro de Macedo
Coimbra Mano, Professor Auxiliar, FCT-UNL

Júri:

Presidente: Prof. Doutora Leonor Miranda Monteiro do Amaral

Arguente: Prof. Doutora Rita Maurício Rodrigues Rosa

Vogal: Prof. Doutor António Pedro de Macedo Coimbra Mano



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Maio de 2019



Ana Patrícia Antunes Santos Silva

Licenciada em Ciências de Engenharia do Ambiente

Valorização do Efluente Tratado da Indústria Papeleira em Usos Compatíveis

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia do Ambiente – Perfil de Engenharia Sanitária

Orientador: Prof. Doutor António Pedro de Macedo
Coimbra Mano, Professor Auxiliar, FCT-UNL

Júri:

Presidente: Prof. Doutora Leonor Miranda Monteiro do Amaral

Arguente: Prof. Doutora Rita Maurício Rodrigues Rosa

Vogal: Prof. Doutor António Pedro de Macedo Coimbra Mano



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Maio de 2019

Valorização do Efluente Tratado da Indústria Papeleira em Usos Compatíveis

Copyright © Ana Patrícia Antunes Santos Silva, Faculdade de Ciências e Tecnologia,
Universidade Nova de Lisboa

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar gostaria de agradecer ao Professor Doutor António Pedro Mano, orientador desta dissertação, por me ter convidado a fazer parte deste projeto. Ao Professor devo um profundo agradecimento pela sua pronta disponibilidade e paciência, e acima de tudo pelas palavras de apoio e incentivo, não só a nível académico, como também sobre o meu futuro profissional.

À The Navigator Company, em especial ao Engenheiro Carlos Quadros, agradeço a disponibilização dos dados necessários à realização deste trabalho bem como a sua receptividade demonstrada.

Aos meus pais, que sempre me incentivaram a sonhar mais alto, e por todo o esforço e dedicação que tiveram para que me tornasse a pessoa que sou hoje, a partir do apoio incondicional que me deram ao longo do meu percurso académico e ao longo de toda a minha vida.

À minha irmã, pelo companheirismo e apoio sem igual, e por estar presente nos momentos mais felizes da minha vida, mas também nos mais difíceis.

Ao meu namorado, por todo o carinho, amor e amizade com que sempre me tratou. Agradeço por todos os momentos bons e menos bons, sempre de mãos dadas, partilhados ao longo desta jornada, pela maneira como sempre me encorajou a lutar e a alcançar os meus objetivos mesmo em situações de adversidade.

Um grande obrigado à família Salvado por me ter calorosamente acolhido durante o período da elaboração da dissertação. Especialmente à Sofia, cujo caminho andou sempre lado a lado ao meu, com quem sempre pude partilhar medos, frustrações e também momentos de riso e pura amizade.

Finalmente, a todos os meus amigos e colegas com quem partilhei este percurso. Não querendo correr o risco de não mencionar algum, aqueles a quem este agradecimento se refere saberão relacionar-se com as palavras que proferi.

RESUMO

A água é uma das principais matérias primas na produção de pasta e papel, sendo esta indústria uma consumidora intensiva deste recurso. Por outro lado, a evolução da tecnologia industrial e da educação ambiental permitiu ao setor transformar a sua abordagem de gestão dos recursos hídricos, que vai para além do investimento em tecnologias de fim de linha, focando-se na reutilização dos seus efluentes tratados. A valorização dos efluentes permite à indústria contribuir para a conservação da água fresca e reduzir as necessidades de tratamento a jusante da produção.

Esta dissertação decorre de um trabalho de prestação de serviços prestado pela FCT NOVA à *The Navigator Company* cujo objetivo foi avaliar a possibilidade de valorização dos efluentes tratados em usos compatíveis de dois complexos industriais: Navigator Tissue Ródão, S.A. e Navigator Pulp Setúbal, S.A..

Os efluentes de uma fábrica de pasta e papel são, por norma, caracterizados por cargas elevadas de CBO₅, CQO, SST, AOX, Azoto total e Fósforo total, sendo estes, e a Cor e Condutividade, os principais parâmetros estudados ao longo deste documento.

A atual linha de tratamento das três ETAR estudadas inclui pré-tratamento, tratamento primário e tratamento biológico, apresenta eficiências de remoção elevadas de CQO, CBO₅, SST e AOX (ETAR1 e 2 da NPS) e remoções marginais de Condutividade e Cor (no caso da ETAR1 da NPS). O efluente tratado característico da indústria é agressivo e corrosivo. A remoção de azoto e ou fósforo obrigará à inclusão de uma etapa doseamento de Cloreto Férrico a montante de uma operação de filtração (ETAR1 da NTR e ETAR2 da NPS). Tanto no caso da ETAR1 da NTR e como da ETAR2 da NPS a informação qualitativa relativamente ao efluente tratado é escassa, nomeadamente no que respeita aos parâmetros Cor, Cloretos, Condutividade, Sódio, Cálcio, Magnésio e parâmetros microbiológicos.

A compatibilidade dos efluentes tratados com as qualidades exigidas para usos internos (caldeiras, refrigeração, máquina de papel) e externos (rega agrícola, rega urbana, recarga de aquíferos) não foi conclusiva devido à falta de informação qualitativa suficiente. No entanto, admitiu-se a possível reutilização do efluente da ETAR1 da NTR na rega, sem necessidade de tratamento adicional. Relativamente às ETAR da NPS, concluiu-se a necessidade da instalação de tecnologias de tratamento terciário para valorizar o efluente em qualquer uso interno ou externo.

Palavras-chave: indústria papelreira; reutilização de água; tratamento terciário; qualidade da água.

ABSTRACT

Water is one of the most important resources in the pulp and paper production, making this industry one of the most intensive water consumer. The industrial technology and environmental education evolution allowed the sector to transform its approach on the matter of water management, going beyond end-of-pipe investments and focusing in the reuse of its treated wastewater. The reuse of wastewater by the pulp and paper industry reduces environmental impacts by contributing to raw water conservation and reducing wastewater treatment.

This dissertation comes from a consulting task provided by FCT NOVA to *The Navigator Company*, and its goal was to evaluate the possibility of reusing treated wastewater in compatible uses from two separate industrial complexes: : Navigator Tissue Ródão, S.A. and Navigator Pulp Setúbal, S.A..

The wastewater of a pulp and paper factory are normally characterized by high loads of BOD, COD, TSS, AOX, total Nitrogen and total Phosphorus, Colour and Conductivity, which are the main compounds studied throughout this document.

The current treatment scheme of the three WWTP is pre-treatment, primary treatment and biological/secondary treatment. These WWTP have high removal efficiencies of BOD, COD, TSS and AOX (WWTP1 and 2 from NPS) however are limited in Conductivity and Colour (WWTP1 from NPS). The typical treated pulp and paper wastewater is aggressive and corrosive. The nitrogen and phosphorus removal implies the addition of an Iron Chloride dosing stage before a filtration operation (WWTP from NTR and WWTP2 from NPS). Both in the NTR WWTP as in the WWTP2 from NPS the qualitative information regarding the treated wastewater is scarce, specially about Colour, Chlorine, Conductivity, Sodium, Calcium, Magnesium and microbiological compounds.

The compatibility between the treated wastewater and the quality demand for internal (boiler, cooling, paper machine) and external uses (municipal irrigation, irrigation of cultures, aquifer recharge) was not conclusive due to the lack of sufficient information of the wastewater quality. Nonetheless, it was admitted the reuse of the NTR wastewater for irrigation purposes without the need of further treatment. Regarding both NPS WWTP, it is necessary to include a tertiary treatment phase in order to reuse its wastewater for any purpose, internal or external, whatsoever.

Key words: pulp and paper industry; wastewater reuse; tertiary treatment; water quality.

ÍNDICE DE MATÉRIAS

1.	Introdução	1
1.1	Contextualização	1
1.2	Motivação e objetivos	2
1.3	Estrutura da dissertação	2
2.	A indústria papelreira	5
2.1	Enquadramento histórico	5
2.2	Cenário português	6
2.3	Produção de pasta e de papel	7
2.3.1	Produção de pasta.....	7
2.3.2	Produção de papel.....	12
3.	Água na indústria papelreira	15
3.1	Panorama geral.....	15
3.2	Consumos de água fresca	16
3.2.1	Pasta kraft.....	17
3.2.2	Papel UWF	18
3.3	Caracterização qualitativa da AF e dos efluentes produzidos	20
3.4	Tratamento de efluentes	23
4.	Potencial de valorização do efluente tratado	28
4.1	Redução do consumo de água e valorização do efluente tratado na produção.....	28
4.2	Casos reais de valorização do efluente tratado	33
4.3	Enquadramento legal na valorização da ARIT.....	35
5.	Metodologia	38
6.	Navigator Tissue Ródão, SA.	40
6.1	Informação genérica.....	40
6.2	Consumo de água na NTR.....	40
6.2.1	Características quantitativas	40
6.2.2	Características qualitativas.....	41
6.2.3	Utilização da água	45
6.3	Licença de Utilização de Recursos Hídricos	46
6.4	ETARI	47

6.4.1	Caracterização dos afluentes	47
6.4.2	Linha de tratamento da ETARI	48
6.4.3	Qualidade do efluente tratado	50
6.4.4	Afinação da qualidade do efluente tratado	54
6.5	Análise crítica da ETARI	55
7.	Navigator Pulp Setúbal, SA.	58
7.1	Informação genérica.....	58
7.2	Consumo de água na NPS.....	59
7.2.1	Características quantitativas	59
7.2.2	Características qualitativas.....	60
7.3	Licença Ambiental	61
7.4	ETAR 1	62
7.4.1	Caracterização dos afluentes	62
7.4.2	Linha de tratamento.....	65
7.4.3	Qualidade do efluente tratado	66
7.4.4	Afinação da qualidade do efluente tratado	67
7.5	ETAR 2	69
7.5.1	Linha de tratamento.....	69
7.5.2	Qualidade do efluente tratado	70
7.5.3	Afinação da qualidade do efluente tratado	70
7.6	Análise crítica das ETAR1 e ETAR2	71
8.	Potencial de valorização do efluente tratado	72
8.1	Navigator Tissue Ródão, S.A.	72
8.2	Navigator Pulp Setúbal, S.A.	77
9.	Conclusões	82
9.1	Navigator Tissue Ródão, S.A.	82
9.2	Navigator Pulp Setúbal, S.A.	83
9.3	Síntese	85
10.	Recomendações futuras.....	86
	Referências Bibliográficas	88
	Anexos.....	96

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Produção a nível mundial de papel e cartão entre 2006 e 2016, em toneladas	6
Figura 2.2 Distribuição da área (%) de povoamentos florestais, por espécie dominante em Portugal continental, em 2015.....	7
Figura 2.3 Diagrama simplificado de uma fábrica de pasta de papel kraft.....	11
Figura 2.4 Layout de uma máquina de papel Fourdrinier	13
Figura 2.5 Layout de uma máquina de papel Tissue com um yankee dryer	13
Figura 3.1 Resumo das principais abordagens utilizadas pela indústria nas últimas décadas em relação à produção de efluentes	15
Figura 3.2 Valores máximos e mínimos de consumo de água por categoria de produção de pasta e papel	16
Figura 3.3 Distribuição do consumo de água fresca associado a cada fase da produção da pasta e papel.....	17
Figura 3.4 Diagrama de entradas de água fresca e saídas de água branca na produção de papel	19
Figura 3.5 Principais poluentes associados aos processos de fabrico de pasta e papel	22
Figura 3.6 Classificação das etapas de tratamento de água residual	24
Figura 3.7 Principais tecnologias utilizadas pela indústria e respetivas faixas de aplicação adequadas.....	25
Figura 4.1 Medidas a aplicar rumo a um menor consumo de AF e menor carga de poluentes no efluente	29
Figura 4.2 Métodos de recarga de aquíferos	32
Figura 5.1 Metodologia aplicada na elaboração do projeto	38
Figura 7.1 Vista areal da ETAR 1 e identificação dos órgãos	65
Figura 7.2 Concentrações médias mensais de CQO e SST à entrada do SBR – dados de 2018	69
Figura 8.1 Índice NDVI aplicado à área circundante da NTR (imagem de satélite de 29/07/2018)	75
Figura 8.2 Índice NDVI aplicado à área circundante do CIS (imagem de satélite de 29/07/2018)	80
Figura 8.3 Observação direta através de imagens satélite do dia 29/07/2018	80

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 Produção de pasta de papel por categoria, em toneladas x 10 ⁶ e percentagem	8
Tabela 2.2 Tabela resumo das características dos processos de fabrico de pasta de papel	9
Tabela 3.1 Consumo de AF estimado para cada fase de produção em m ³ /dia e em percentagem.	17
Tabela 3.2 Volume de AF utilizado numa fábrica de papel	19
Tabela 3.3 Qualidade da água associada à sua utilização em determinadas operações e processos	21
Tabela 3.4 Normas de descarga das águas residuais do setor da pasta de celulose	23
Tabela 3.5 Operações e processos unitários utilizados pela indústria na remoção de constituintes residuais na ARIT	26
Tabela 4.1 Vantagens e desvantagens do fecho dos circuitos de água em fábricas de pasta e papel.....	30
Tabela 4.2 Parâmetros que caracterizam a qualidade da água para reutilização na rega (adaptado da NP 4434).	31
Tabela 4.3 Condições de utilização dos diferentes métodos de recarga	32
Tabela 4.4 Regulamentação associada à valorização de água residual.....	35
Tabela 6.1 Produção e consumos associados à NTR – Ano de 2017.	40
Tabela 6.2 Resumo dos resultados obtidos através do recurso ao programa EQUIWIN® sobre as características da água a utilizar nas máquinas de papel.	41
Tabela 6.3 Qualidade da água fresca consumida pela NTR (ano de 2009).....	42
Tabela 6.4 Água fresca. Equilíbrio calco-carbónico. Resumo dos resultados obtidos através do recurso ao programa EQUIWIN®.	44
Tabela 6.5 Usos de água na fábrica da NTR	45
Tabela 6.6 Caudais e volumes. Limites de descarga definidos na LURH.	46
Tabela 6.7 Concentração e carga. Limites de descarga definidos na LURH.	46
Tabela 6.8 Resultados da amostra pontual de água residual à entrada da ETAR e das amostras compostas efetuadas entre maio e julho de 2018.	47
Tabela 6.9 Linha de tratamento da fase líquida da NTR	48
Tabela 6.10 Reagentes, funções e pontos de aplicação na ETAR.	49

Tabela 6.11 Resultados de amostras pontuais realizadas entre 24 e 28 de setembro de 2018	50
Tabela 6.12 Análise das águas de processo e efluentes – Amostragem 06-12-2017	51
Tabela 6.13 Eficiências de remoção associadas ao tratamento da AR.....	53
Tabela 6.14 Incumprimentos relativos aos parâmetros CQO, SST, Nt e Pt durante os primeiros seis meses de 2018.	55
Tabela 7.1 Produção e consumos associados à NPS – Ano de 2017.	59
Tabela 7.2 Consumo de água fresca distribuído por cada fase da produção de pasta, em m ³ /dia.	59
Tabela 7.3 Consumo de água fresca distribuído por cada fase de produção de papel, em m ³ /t.	60
Tabela 7.4 Qualidade da água fresca consumida pela NPS (ano de 2017).....	60
Tabela 7.5 Resumo dos resultados obtidos através do recurso ao programa EQUIWIN® sobre as características da água fresca.....	61
Tabela 7.6 Limites de emissão (VLE) impostos às ETAR do CIS	62
Tabela 7.7 Afluentes à ETAR1 (Fábrica da Pasta + ATF)	63
Tabela 7.8 Efluente misto da ETAR1 - análises de 2018	64
Tabela 7.9 Linha de tratamento da fase líquida da ETAR1 da NTR.....	65
Tabela 7.10 Caudais afluentes à ETAR1	66
Tabela 7.11 Efluente tratado final da ETAR1 - análises de 2018.....	66
Tabela 7.12 ETAR1. Qualidade do efluente tratado ao longo de 2017	67
Tabela 7.13 Operações e processos avançados estudados pelo RAIZ.	68
Tabela 7.14 Linha de tratamento da fase líquida da ETAR2 da NTR.....	69
Tabela 7.15 Caudal afluente à ETAR2.....	69
Tabela 7.16 ETAR2. Qualidade do efluente tratado ao longo de 2017	70
Tabela 7.17 Eficiências de remoção das ETAR1 do CIS.....	71
Tabela 8.1 Consumo estimado de água fresca para cada fase de produção em m ³ /d.	72
Tabela 8.2 Parâmetros que caracterizam a qualidade da água para utilização na máquina de papel vs a qualidade do efluente tratado da ETAR1.	73
Tabela 8.3 Parâmetros que caracterizam a qualidade da água para reutilização na rega vs a qualidade do efluente tratado da ETAR1.	74

Tabela 8.4 Parâmetros que caracterizam a qualidade da água para reutilização em usos internos vs a qualidade do efluente tratado da ETAR1 e ETAR2.	78
Tabela 8.5 Parâmetros que caracterizam a qualidade da água para reutilização na rega vs a qualidade do efluente tratado da ETAR1 e 2.	79

Lista de abreviaturas, acrónimos, siglas e símbolos

AF	Água Fresca
APA	Agência Portuguesa do Ambiente
ARIT	Água Residual Industrial Tratada
ATF	Fábrica de Papel 2 – <i>About the Future</i>
BEKP	<i>Bleached Eucalyptus Kraft Pulp</i>
BREF	Best Available Techniques Reference Documents for the Production of Pulp, Paper and Board
CELPA	Associação da Indústria Papeleira
CEPI	Confederation of European Paper Industries
CBO	Carência Bioquímica de Oxigénio
CQO	Carência Química de Oxigénio
ECF	Elemental Chlorine Free Bleaching
ERSAR	Entidade Reguladora dos Serviços de Água e Resíduos
ETARI	Estação de Tratamento de Águas Residuais Industriais
FP	Fábrica de Papel
LA	Licença Ambiental
LURH	Licença de Utilização de Recursos Hídricos
MP	Máquina de Papel
NTR	Navigator Tissue Ródão S.A.
NPS	Navigator Pulp Setúbal, S.A.
PIB	Produto Interno Bruto
SDT	Sólidos Dissolvidos Totais
SST	Sólidos Suspensos Totais
TCF	Total Chlorine Free Bleaching
UWF	Papel de impressão e escrita não revestido de pasta química (Uncoated Woodfree Printing and Writing Paper)

1. Introdução

1.1 Contextualização

O crescimento exponencial da população mundial levou ao desenvolvimento de uma economia industrial intensiva, que consome energia, recursos naturais e causa poluição. Deste modo, atualmente, torna-se cada vez mais relevante a avaliação dos impactes que o setor industrial potencia na sua envolvente, quer no que respeita às emissões atmosféricas, quer aos efluentes líquidos (Rodrigo, Calva, & Cannan, 2012; Sanusi & Menezes, 2014). Tão importante quanto a poluição causada é a utilização excessiva de recursos naturais, nomeadamente a água, que é um recurso natural essencial à vida, respondendo não só às necessidades fundamentais do Homem, como também sendo fulcral na evolução económica, social e cultural (UNESCO, 2009). Os períodos de seca e escassez de água têm vindo a aumentar em todo o mundo, e, deste modo, a sua captação e consumo, quer para usos domésticos, quer industriais, deverá ser minimizada de modo a procurar poupar este recurso (Li & Ma, 2015).

Os impactes ambientais influenciam, cada vez mais, a forma como as diferentes áreas de negócio são desenvolvidas e, deste modo, torna-se imperativo para o setor industrial desenvolver uma boa imagem perante o público, o que atualmente significa não só a formulação de produtos e serviços com um rácio preço/qualidade adequado, mas também a obtenção de certificações ambientais que garantam ao consumidor que o produto final é sustentável (Genovese, Acquaye, Figueroa, & Koh, 2017; Piadeh, Moghaddam, & Mardan, 2014). A indústria papeleira acompanha a tendência crescente da reutilização/valorização dos seus efluentes, que podem ser tratados ou não. Ao reutilizar, interna ou externamente, os seus efluentes, a indústria está a contribuir para a redução de consumo de água fresca, a minimização de emissão de efluentes e a diminuição da carga de poluentes, principalmente em meios recetores mais sensíveis como rios e albufeiras (Mänttari et al., 2015; Toze, 2006).

Em Portugal este setor assume uma importância crucial a nível económico uma vez que representa quase 2% do produto interno bruto português e é responsável por aproximadamente 7% da produção europeia de pasta (CELP, 2017), sendo uma empresa portuguesa, a The Navigator Company, a líder europeia na produção de pasta de celulose de eucalipto e na produção de papéis finos não revestidos (UWF).

Geralmente, a nível global, a valorização das águas residuais da indústria papeleira é feita internamente, em quantidades reduzidas, em processos menos nobres e apenas em linhas de produção de pasta ou papel de menor qualidade (Karthik, Dhodapkar, Manekar, Aswale, & Nandy, 2011). Valorizações extensivas, interna ou externamente, envolvem a aplicação de tratamentos terciários nas estações de tratamento de efluentes industriais (ETARI), cujo investimento associado é, na sua maior parte, superior ao preço da captação de água fresca na fonte mais próxima (Comissão Europeia, 2015; Marecos, 2012).

A necessidade de reverter esta situação e aumentar a taxa de reutilização de água residual tratada da indústria dependerá, em última análise, apenas da motivação de cada corporação, seja por preocupações ambientais ou por escassez hídrica da zona envolvente.

1.2 Motivação e objetivos

De acordo com Nguyen & Johnston (1995), citado por Lovelady et al. (2007), sumariamente, e especificamente para a indústria papeleira, a necessidade de desenvolver medidas que permitam a criação de fábricas de impacto ambiental mínimo (em linguagem anglo-saxónica MIM – Minimum Impact Mill) são as seguintes:

- Eliminar a descarga de compostos indesejáveis, como halogénios, nos meios recetores;
- Reduzir ou eliminar o custo do tratamento de águas residuais, que atualmente tem um custo de cerca de €1,3 - €4,4/ tonelada de pasta produzida;
- Eliminar o uso de água fresca, devido aos períodos de escassez da mesma;
- Reduzir os custos de utilização de água e energia;
- Desenvolvimento de produtos mais “amigos do ambiente”.

Deste modo, o objetivo da presente dissertação é contribuir para avaliar o potencial para a reutilização de água residual tratada da indústria papeleira em usos compatíveis, tanto para valorização interna como externa. Com este propósito, a dissertação suportada por dois casos de estudo: a Navigator Tissue Ródão, produtora de papel Tissue; e a Navigator Pulp Setúbal e Navigator Paper Setúbal, que produzem pasta kraft branqueada e papel de impressão e escrita não revestido de pasta química no mesmo complexo industrial.

1.3 Estrutura da dissertação

A presente dissertação divide-se em 10 capítulos sendo ainda complementada por duas secções finais onde se incluem as referências bibliográficas e os anexos.

No 1º capítulo apresenta-se uma contextualização geral sobre o tema, uma descrição dos objetivos e é apresentada a estrutura do documento.

No 2º capítulo foi desenvolvido um sumário da situação genérica da indústria papeleira, incluindo a sua história e dados estatísticos, assim como um enquadramento no cenário português. A descrição generalista dos processos de produção de pasta e papel foram também introduzidos neste capítulo.

No 3º capítulo encontram-se dados genéricos da utilização de água na indústria, incluindo a caracterização quantitativa, caracterização qualitativa, onde se discute a qualidade da água de processo a utilizar nas fábricas e da água residual bruta resultante da produção, assim como um resumo dos principais processos de tratamento da água residual aplicados na indústria.

No 4º capítulo apresenta-se a fundamentação teórica necessária para a validação dos objetivos da dissertação e do tema em estudo. Deste modo são apresentados métodos para a redução do consumo de água fresca na produção de pasta e papel, assim como alternativas para a valorização da ARIT tanto internamente como externamente. São evidenciados casos reais onde as medidas mencionadas foram aplicadas e também identificado o enquadramento legal nacional e internacional na reutilização de água residual.

O 5º capítulo serve de ponte aos três capítulos seguintes, uma vez que a metodologia a aplicar é aqui descrita sumariamente.

Os 6º e 7º capítulos estão estruturados de igual modo e consistem na análise do caso de estudo em que a dissertação se baseia. Cada fábrica é introduzida genericamente e, posteriormente, são apresentados os dados de produção e consumos de água fresca, as suas licenças ambientais, a produção de efluentes e as ETAR's e a qualidade da ARIT são analisadas e comentadas.

No 8º capítulo apresenta-se a avaliação do potencial de valorização do efluente tratado para cada uma das fábricas estudada, assim como uma avaliação genérica da oferta e procura nas áreas envolventes dos complexos industriais e no 9º capítulo são apresentadas as conclusões separadamente para cada caso e, posteriormente, as conclusões gerais da dissertação.

Finalmente no 10º capítulo são referidas as recomendações futuras propostas.

2. A indústria papeleira

2.1 Enquadramento histórico

O papel assume uma função vital na sociedade atual tendo diversas finalidades como escrita e comunicação, impressão, acondicionamento, higiene, entre outros. A primeira documentação sobre o processo do fabrico do papel é datada de 105 AC na China, tendo sido utilizado pela primeira vez para fabricar notas pelas civilizações islâmicas (Shenoy & Aithal, 2016). A sua introdução na Europa deu-se apenas em 1144, através de Espanha, tendo chegado à Alemanha dois séculos mais tarde, em 1390. Foi em 1445 que Gutenberg inventou a impressão tipográfica, que substituiu a transcrição manual por livros impressos, revolucionando a procura por papel na Europa e no mundo (Blechschtmidt & Heinemann, 2008; Hargrave, 2013). Embora esta invenção tenha contribuído para a impressão de livros, o papel continuou a ser produzido manualmente até 1799, quando Nicholas-Louis Robert inventou a primeira máquina de papel (Blechschtmidt & Heinemann, 2008).

Durante toda a sua história, o papel teve matérias-primas muito diversificadas: na China e no Egipto (papiro) o produto era de origem vegetal, utilizando respetivamente o bambu e plantas aquáticas do leito do rio Nilo; na Europa o suporte de escrita mais utilizado era o pergaminho, que era feito através da pele curada de animais como ovelhas e cabras (Hargrave, 2013; Süß, 2008). Atualmente, o papel é feito através de uma pasta, normalmente a partir de madeira, de onde é retirada a celulose, fibra (Rosenfeld & Feng, 2011).

O crescimento exponencial da população mundial levou ao desenvolvimento de uma economia industrial intensiva, que consome energia, recursos naturais e causa poluição. Em 2017, o mercado europeu da indústria papeleira obteve um lucro de 82,3 mil milhões de euros, e contribuiu para o produto interno bruto (PIB) europeu com 19 mil milhões de euros (CEPI, 2017). Apesar do seu sucesso económico e da contínua evolução tecnológica, esta indústria continua a consumir um abundante volume de água fresca (AF) e de matéria prima (biomassa), e a emitir poluição atmosférica e aquática (Li & Ma, 2015).

Desde a sua existência e início da sua recorrente utilização, a produção de papel e cartão foi sempre estável até ao início do milénio, quando as comunicações digitais começaram a impactar negativamente o consumo e produção do papel gráfico (Berg & Lingqvist, 2017; Patari et al., 2015). No entanto, apesar da era da digitalização ter impactes negativos no consumo e produção, a nova possibilidade de impressão diretamente de fontes digitais tornou-se uma consequência positiva para a indústria (Hargrave, 2013).

Entre 1992 e 2006, a produção de papel e cartão cresceu aproximadamente 3% por ano (Berg & Lingqvist, 2017). No entanto, de acordo com dados estatísticos do *website* Statista (2017) foi produzida o gráfico da Figura 2.1, onde se observa que entre 2006 e 2016, excetuando o período da crise económica de 2007/2008, o acréscimo anual passou a ser de apenas 1%.

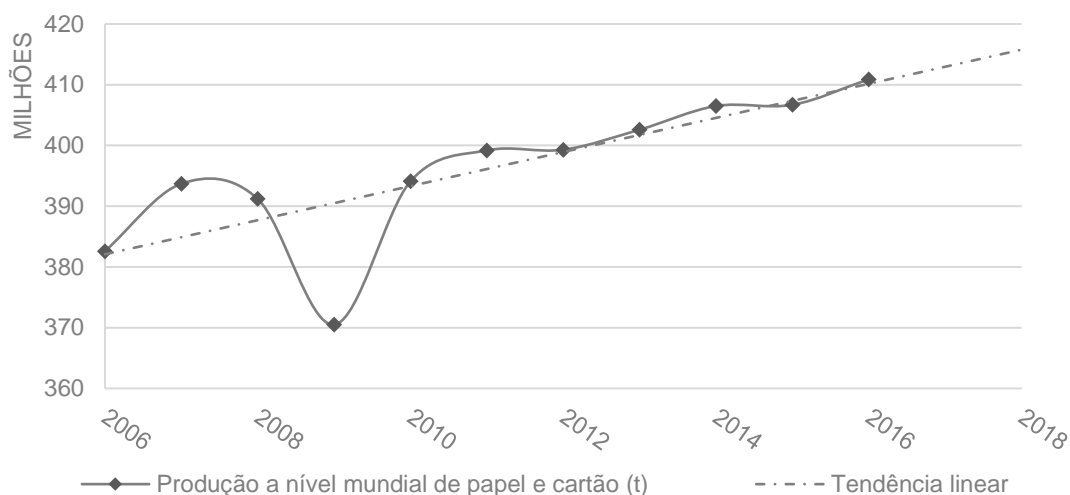


Figura 2.1 | Produção a nível mundial de papel e cartão entre 2006 e 2016, em toneladas

A nível europeu, de acordo com dados estatísticos produzidos pela *Confederation of European Paper Industries* (CEPI) o padrão de produção e consumo de pasta e papel é semelhante ao mundial, tendo também uma tendência crescente. No que respeita à produção de pasta 20,6% de toda a pasta produzida mundialmente provem de países CEPI, sendo que 60,7% destes provém da Suécia (32,2%) e da Finlândia (28,5%).

Em 2017, existiam na Europa 891 fábricas, sendo que 154 produziam pasta e 737 produziam papel e cartão, no entanto, face a valores de 1990, a produção do mercado aumentou em 50% até 2016. A quantidade de fábricas é na realidade inferior quando comparada a anos anteriores. Isto deve-se a novas tecnologias implementadas pela indústria e na otimização do processo de fabrico tanto de pasta como de papel e cartão (CEPI, 2017).

2.2 Cenário português

A Associação da Indústria Papeleira, CELPA, conta com 4 firmas portuguesas associadas: *Altri*, *SGPS, S.A.*; *Europa&c Kraft Viana, S.A.*; *The Navigator Company, S.A.*; e a *Renova – Fábrica de Papel do Almonda, S.A.*. Estas firmas são responsáveis por 5% de todas as exportações nacionais de bens, dando emprego a cerca de 3 000 trabalhadores diretos, tendo contribuído em 1,39% para o PIB português em 2017 (CELPA, 2017).

Apesar de desempenhar um papel tão relevante a nível económico, a indústria papeleira portuguesa foca-se igualmente na sua responsabilidade ambiental. De acordo com dados fornecidos pela Direção Geral do Território (2018) a floresta representa 39% da área ocupada em Portugal, e destes 39%, as espécies mais predominantes na paisagem portuguesa são o pinheiro-bravo e o eucalipto, como se observa na

Figura 2.2.

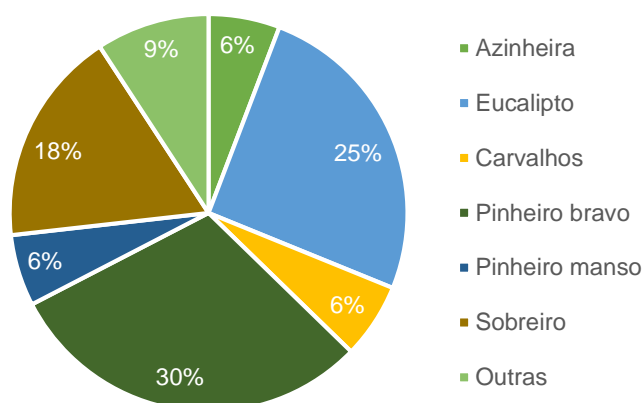


Figura 2.2 | Distribuição da área (%) de povoamentos florestais, por espécie dominante em Portugal continental, em 2015.

Face aos dados referidos anteriormente, 165,9 mil ha de floresta são geridos pelas firmas CELPA, perfazendo 4,8% de toda a área florestal portuguesa. Ao contrário do que acontece com a ocupação do solo português, a espécie mais cultivada pelas empresas CELPA é o eucalipto, perfazendo 89,9% da área florestal gerida por estas entidades (CELPA, 2017).

A grande fração de floresta controlada pela indústria papeleira portuguesa permitiu que em 2017 Portugal fosse o terceiro maior produtor de pasta de papel europeu, com 7,3% da produção total, ficando atrás apenas da Suécia e da Finlândia, que produzem 32,2% e 28,5% respetivamente (CEPI, 2017).

2.3 Produção de pasta e de papel

2.3.1 Produção de pasta

O papel é produzido a partir das fibras de celulose presentes na madeira. O primeiro passo na produção do papel é a produção da pasta, que pode ser realizada através de papel reciclado e através de madeira. O processo é baseado na separação das fibras de celulose da lenhina presentes na madeira, previamente preparada e cortada em aparas, resultando numa pasta crua que pode ou não ser adicionalmente branqueada (Sixta, 2008).

Métodos

A pasta de papel pode ser obtida através processos mecânicos, semi-químicos e químicos. Na tabela seguinte, encontram-se dados do CEPI (2017) sobre a produção por categoria de pasta de papel.

Tabela 2.1 | Produção de pasta de papel por categoria, em toneladas x 10⁶ e percentagem

Tipo de pasta	1991		2000		2010		2017	
	t	%	t	%	t	%	t	%
Pasta Mecânica e Semi-Química	12,6	37,3%	14,9	37,3%	12,9	33,3%	9,8	26,1%
Pasta Química	20,8	61,6%	24,1	60,3%	25,1	64,9%	27,6	73,1%
Outras Pastas	0,3	1,1%	0,9	2,4%	0,7	1,8%	0,3	0,8%
Total	33,8	100,0%	39,9	100,0%	38,7	100,0%	37,8	100,0%

Segundo o BREF *Pulp & Paper* (2015), McBroom (2011), e Rosenfeld & Feng (2011) a pasta mecânica é obtida através da separação das fibras de celulose e lenhina por abrasão, dividindo-se em subprocessos que podem ser de natureza:

- Químico-mecânico (CMP) - por abrasão mecânica e o uso de químicos na desagregação da fibra celulósica da lenhina;
- Termomecânico (TMP) - por abrasão mecânica combinada com a aplicação de calor ou vapor;
- Químico-termomecânico (CTMP) - por abrasão mecânica combinada com o amaciamento por sulfito de sódio, carbonatos ou hidróxidos durante a aplicação de calor ou vapor.

As pastas semi-químicas são por norma *Neutral Sulfite Semi-Chemical*, NSSC. Este método é aplicado principalmente à madeira de espécies folhosas (*hardwood*), sendo caracterizada pela sua elevada rigidez, e por isso, serve para a produção de papel corrugado e papéis à prova de gordura como, por exemplo, papel de cozinha (Sixta, 2008). Apesar do seu processo de cozimento ser similar ao de pastas químicas é necessário recorrer-se a métodos mecânicos de abrasão, por não se conseguir uma deslenhificação total aquando da cozedura (Patt, Kordsachia, & Suttinger, 2011).

As pastas químicas são obtidas através da cozedura da madeira, denominada por digestão. Existem dois principais tipos de pastas químicas, pasta de sulfato, mais conhecida por *kraft*, ou pasta de sulfito (Patt et al., 2011; Rosenfeld & Feng, 2011).

As pastas de sulfito são normalmente produzidas sob pH ácidos, no entanto é possível ajustar-se a dosagem e composição dos químicos de modo a possibilitar a utilização de toda a gama de pH (Comissão Europeia, 2015). O processo utiliza sempre dióxido de enxofre (SO₂) e uma base que pode ser cálcio (Ca²⁺), magnésio (Mg²⁺), sódio (Na²⁺) ou amónia (NH⁴⁺). As pastas de sulfito perfazem menos de 10% da produção mundial de pasta, devido à sua inconsistência na qualidade do produto final. No entanto, podem ter diversas aplicabilidades devido à flexibilidade na sua produção (Patt et al., 2011).

A pasta *kraft* é produzida através da dissolução alcalina da lenhina pelo chamado licor branco, composto pelos agentes químicos ativos hidróxido de sódio (NaOH) e sulfeto de sódio (Na₂S) (Patt et al., 2011; Suez Degremont, 2018). Apesar de existirem fatores limitantes à sua produção, este processo produz uma pasta uniforme e consistente, de alta qualidade, que pode ser produzida a partir de qualquer espécie de madeira, sendo por isto o método mais utilizado mundialmente (80% da produção global de pasta) (Comissão Europeia, 2015).

Na Tabela 2.2 encontra-se um sumário das principais características de cada processo de fabrico de pasta de papel.

Tabela 2.2 | Tabela resumo das características dos processos de fabrico de pasta de papel

Tipo de pasta	Processos	Rendimento da madeira	Qualidade do produto final
<i>Pasta mecânica</i>	Abrasão da madeira contra discos de metal ou pedra; TMP (pasta termomecânica), CTMP (pasta químico-termomecânica), CMP (pasta químico-mecânica)	90 - 97%	Baixa - fibras pequenas
<i>Pasta semi-química</i>	NSSC (<i>neutral sulphite semi-chemical pulp</i>)	75 - 85%	Média - Fibras médias
<i>Pasta química</i>	Sulfite ou Kraft	40 - 50%	Alta - Fibras compridas

Baseado no BREF Pulp & Paper (2015).

O rendimento da madeira está relacionado com as emissões específicas de efluentes. Maiores rendimentos da madeira significam emissões específicas de poluentes menores, por exemplo em kg CQO/t de pasta; uma pasta branqueada terá um menor rendimento que uma pasta crua acastanhada, uma vez que esta gera mais licor negro, gerando igualmente maior emissão de poluentes no efluente (Dias, Arroja, & Capela, 2007; Kamali & Khodaparast, 2015).

Processo

No processo kraft, o mais utilizado mundialmente na produção de pasta de papel, a digestão é o principal processo fabril. De acordo com Cabrera (2018) nesta etapa, o licor branco é utilizado no cozimento das aparas em altas temperaturas (entre 150 a 170°C) e sob pressão. A pasta crua resultante do cozimento deve ser lavada e crivada. O objetivo da lavagem é separar as fibras de celulose dos químicos orgânicos e inorgânicos antes da fase de branqueamento, de modo a recuperar a maior quantidade possível de químicos do cozimento (Comissão Europeia, 2015).

Apesar de ser a principal etapa da produção de pasta, a cozedura das aparas da madeira não é suficiente para alcançar valores de Índice Kappa¹ reduzidos. Após a cozedura é possível obter-se números kappa na ordem dos 14 a 22, sendo que não é conveniente atingirem-se números kappa inferiores a estes, sem posterior deslenhificação por O₂, uma vez que o cozimento excessivo das aparas pode causar uma maior degradação das fibras de celulose, traduzindo-se numa redução no rendimento da madeira na digestão e na perda de qualidade da pasta (Comissão Europeia, 2015).

Após a cozedura, e dependendo da qualidade final da pasta pretendida, pode-se recorrer, individualmente ou em simultâneo, a dois processos distintos:

¹ Índice/número Kappa – Medida da lenhina residual presente na pasta. Amplamente utilizado para determinação do parâmetro inverso, a deslenhificação da pasta. Escala de 1 – 100, sendo valores mais baixos associados a menores concentrações de lenhina na pasta (Fernandes, 2007).

- Deslenhificação por O_2 – que quando implementada ocorre durante a fase de lavagem da pasta;
- Branqueamento.

A deslenhificação por O_2 é uma etapa opcional na produção de pasta de papel que tem como objetivo a consequente redução da concentração de lenhina presente na pasta. Este processo é vantajoso na redução do Índice Kappa da pasta e, se aplicável, no aumento da eficiência do branqueamento.

O documento BREF Pulp & Paper (2015), refere que a fase de branqueamento tem o propósito de aumentar a qualidade da pasta produzida em relação a níveis de limpeza, força e brilho (*shade*, em linguagem anglo-saxónica). Quando crua o brilho da pasta é inferior a 30% ISO², sendo que após ao branqueamento pode atingir valores iguais ou superiores a 88% ISO, reduzindo também o número kappa para menos de uma unidade. Como referido anteriormente, aquando da presença de uma deslenhificação modificada (alongada) durante o cozimento ou por oxigénio, a necessidade de cloragem no branqueamento diminui, diminuindo a carga específica de compostos organoclorados no efluente desta fase.

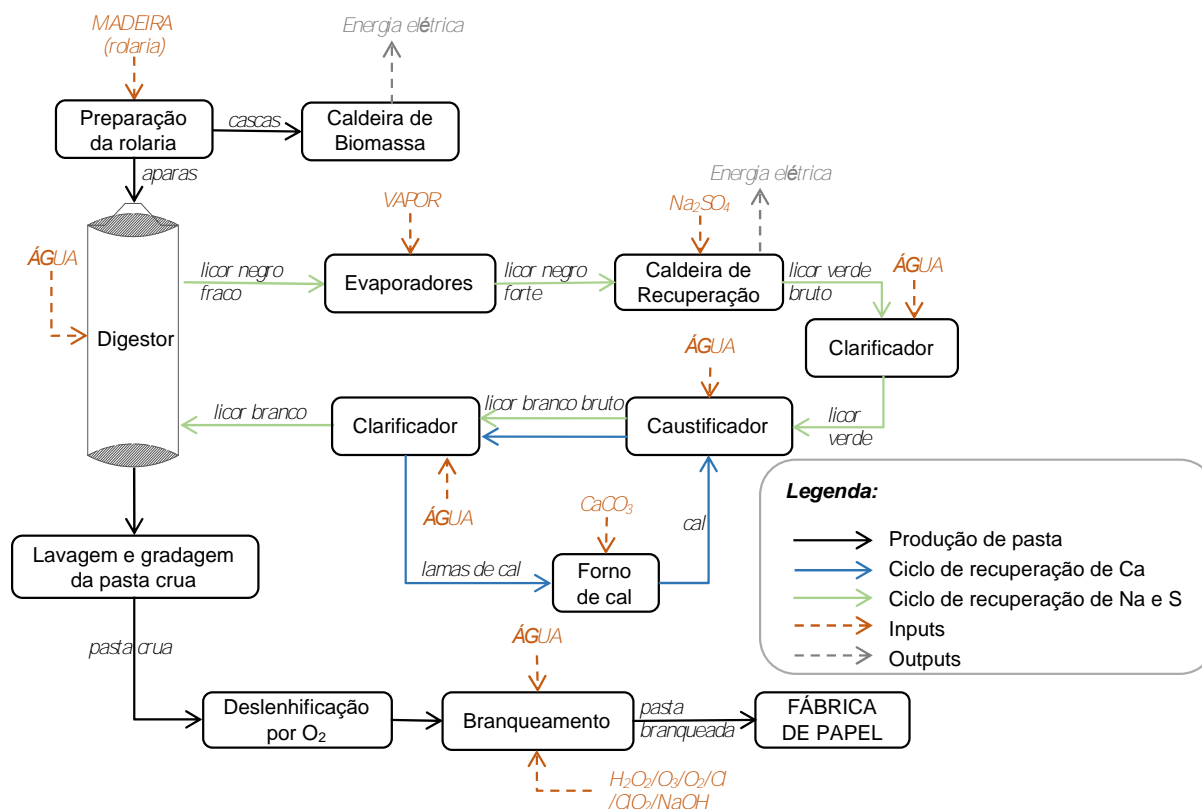
Atualmente, o método de branqueamento mais utilizado é o ECF (nomenclatura anglo-saxónica para *elemental chlorine free*) através da aplicação de dióxido de cloro³ (ClO_2) e peróxido de hidrogénio (H_2O_2); sendo que começa também a ser amplamente utilizado o método TCF (nomenclatura anglo-saxónica para *total chlorine free*) (Comissão Europeia, 2015). O branqueamento por ECF, é tanto mais eficiente quanto mais ClO_2 utilizado no processo, produzindo efluentes com elevadas concentrações de cor e compostos organoclorados (AOX) cujo impacte no ambiente é negativo (Gordon & Rosenblatt, 2005). Uma sequência típica de branqueamento numa fábrica de pasta kraft pode conter os seguintes estágios:

- O – Aplicação de oxigénio;
- D – Aplicação de dióxido de cloro;
- EO – Extração alcalina reforçada com oxigénio;
- EP – Extração alcalina reforçada com peróxido de hidrogénio;
- EOP – Extração alcalina reforçada com oxigénio e peróxido de hidrogénio.

Na figura seguinte encontra-se um diagrama simplificado do processo produtivo da pasta *kraft*.

² Brilho do papel – Unidade definida pela ISO 2470-1 (Sappi North America, 2012).

³ O dióxido de cloro é produzido em unidades SVP-Lite, a partir de clorato de sódio.



Baseado em Fernandes (2007), Barneto et al. (2011), Patt et al. (2011) e Asano et al. (2007)

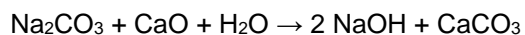
Figura 2.3 | Diagrama simplificado de uma fábrica de pasta de papel kraft

Recuperação de químicos

Por motivação económica, as fábricas *kraft* mais modernas possuem sistemas eficientes de recuperação de químicos do processo, especificamente sódio e cálcio. As perdas químicas, que são consideradas em sulfato de sódio, perfazem 10 a 20 kg por tonelada de pasta produzida. Este valor equivale apenas a 10% de perdas, sendo possível a recuperação de 90% da totalidade de sulfato de sódio introduzido no processo (Patt et al., 2011).

Estes ciclos iniciam-se com a utilização do licor negro proveniente do cozimento das aparas. Este contém a lenhina, que foi separada das fibras celulósicas durante o cozimento, que se encontra dissolvida no licor branco (Krotscheck & Sixta, 2008). O licor negro é primeiramente evaporado de modo a obter-se um licor concentrado a 25-28%, e posteriormente encaminhado a uma caldeira de recuperação onde é submetido à queima com adição de uma solução sulfato de sódio (Na_2SO_4). No fundo da caldeira é formada uma massa líquida composta principalmente por carbonato de sódio e sulfeto de sódio, designada por *smelt*, que ao ser dissolvida passa a designar-se por licor verde (Navigator Pulp Setúbal S.A., 2018).

De acordo com Patt et al. (2011), a caustificação ocorre após à formação do licor verde, sendo necessário converter o carbonato de sódio a hidróxido de sódio através da adição de cal no caustificador:



O carbonato de cálcio formado é separado do licor branco após a caustificação, e é lavado para reduzir perdas químicas acentuadas, uma vez que nesta etapa são necessários cerca de 250 kg de cal por tonelada de pasta produzida. Assim, as lamas de cal, com elevadas concentrações de carbonato de cálcio, são requeimadas no forno de cal (Krotscheck & Sixta, 2008; Patt et al., 2011). Os ciclos de recuperação de químicos estão representados na Figura 2.3.

2.3.2 Produção de papel

A função de uma fábrica de papel é, em suma, transformar a pasta produzida anteriormente, integrada ou não, em papel, de determinada finalidade, que será envolto no rolo Jumbo e posteriormente dividido em bobinas menores (Santos & Almada-Lobo, 2012).

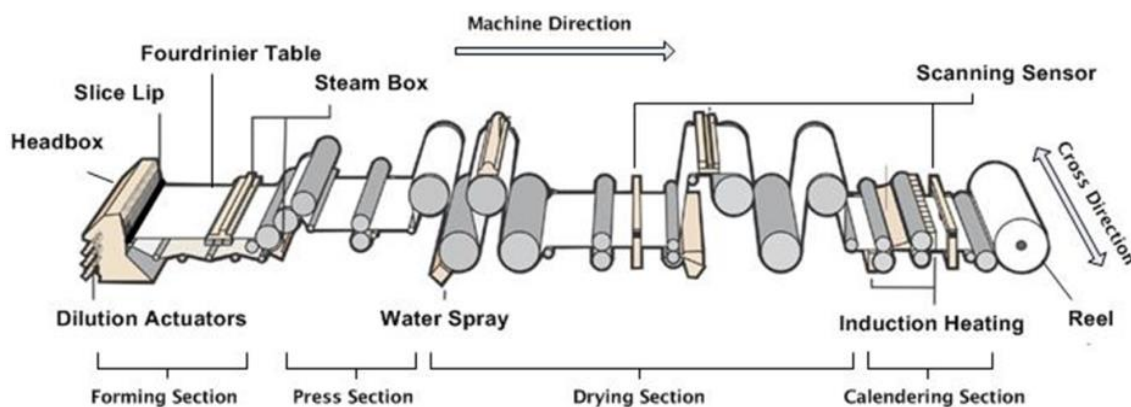
Embora as fábricas de papel tenham *layouts* diferentes consoante o tipo de papel produzido, os processos têm normalmente o mesmo objetivo e seguem a mesma sequência, sendo relativamente simples. As matérias primas necessárias são a fibra celulósica, e em Portugal é utilizada principalmente a fibra celulósica de eucalipto, água e um meio de drenagem. De acordo com Adamur (1997), a pasta de papel é filtrada num tecido poroso, designado de tela, onde a água em excesso é drenada formando uma folha contínua de papel. A mesma sofre compressão de dois cilindros giratórios contínuos e, de seguida, por ação do calor a restante humidade é evaporada.

Cada tipo de papel é caracterizado especificamente pela sua composição, entre outras características, como por exemplo a utilização aditivos (Moura, 2015). Os aditivos químicos podem ser argilas ou outros aditivos minerais, tintas, polímeros e agentes de ligação para melhorar as propriedades visuais (opacidade e brilho) e de estrutura do papel (Adamur, 1997; The Navigator Company, 2018).

Existem diversas categorias de papel, de acordo com a sua finalidade. Na presente dissertação são contempladas as seguintes categorias:

- Papel de impressão e escrita não revestido de pasta química (UWF);
- Papel Tissue

A CELPA (2016) define o papel UWF como próprio para impressão ou outros fins gráficos em que pelo menos 90% das componentes fibrosas consiste em fibras de pasta química. Este tipo inclui a maior parte dos papéis de escritório, como faturas e outros formulários, papel de cópia de computador, de caderneta e de livros. Na figura seguinte apresenta-se o layout de uma típica máquina de papel Fourdrinier.



Fonte: Chu et al. (2011).

Figura 2.4 | Layout de uma máquina de papel Fourdrinier

A parte húmida é a primeira etapa da máquina de papel Fourdrinier, onde a caixa de chegada distribui a pasta sobre uma “tela”, formando uma folha contínua (*forming section*). Seguidamente, na pré-secaria, a percentagem de fibra na folha aumenta devido à compressão da mesma entre rolos (*press section*) e, posteriormente, a fase de pós-secaria inclui a evaporação da humidade através da ação do calor (*drying section*) (The Navigator Company, 2018). Na última etapa, *calendering section*, a folha de papel sofre compressão entre um ou mais pares de rolos de propriedades especiais de modo a modificar as características do papel como o brilho, opacidade, suavidade/rugosidade ou densidade (Holik et al., 2012).

Os papéis que se introduzem na gama de papéis para higiene utilizados em casas de habitação ou instalações comerciais e industriais são denominados Tissue (CELPA, 2016). Exemplos são os papéis higiénicos, lenços faciais, lenços de bolso, guardanapos, rolos de cozinha, toalhas e papéis para limpar utilizados na indústria (Moura, 2015).

Como referido anteriormente, os processos de produção de papel têm o mesmo objetivo seguindo a mesma sequência de produção. No entanto existem diferenças entre as máquinas de papel Fourdrinier para as de produção de papel Tissue. A fase de pós-secaria é composta por um yankee dryer, sendo este equipamento responsável pela secagem da folha que, inicialmente, era constituída por aproximadamente 42% de fibra, passando posteriormente para cerca de 85%. É nesta fase que também são introduzidos os aditivos e onde é realizada a crepagem da folha, sendo que não existe uma *calendering section* (Chu et al., 2011).

Na Figura 2.4 apresenta-se o layout de uma máquina de papel Tissue, com um Yankee Dryer.

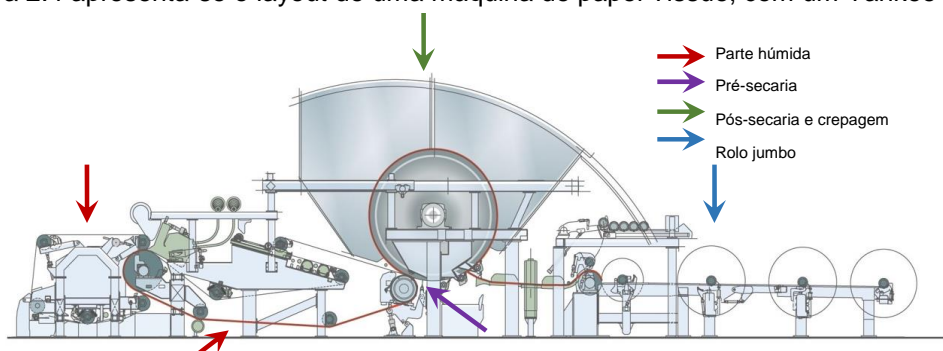


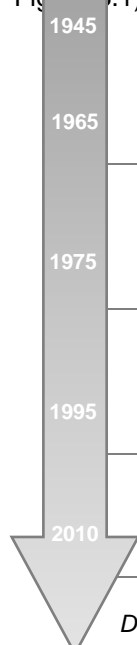
Figura 2.5 | Layout de uma máquina de papel Tissue com um yankee dryer [fonte: TissueStory (2018)]

3. Água na indústria papeleira

3.1 Panorama geral

O setor industrial tem um impacto significativo nas fontes de água disponíveis, principalmente fontes superficiais, ao consumir muitos milhões de metros cúbicos de água por ano (Mauchauffee, Denieul, & Coste, 2012). A indústria papeleira não só é fiel a este padrão como é considerada uma das indústrias mais dependentes de água (Bajpai, 2017). Ao longo do século 20, a indústria evoluiu a sua abordagem face à gestão dos efluentes que produzia, sendo que atualmente, a gestão é realizada com o foco no desenvolvimento sustentável, que pode e deve integrar a reutilização dos seus efluentes (Adaptado do documento BREF Pulp & Paper (2015).

Fig. 3.1).



	Abordagem	Conceito	Solução	Resultados
1945	<i>Ignorar</i>	Recursos naturais ilimitados	Ignorar o problema	<ul style="list-style-type: none"> o Elevada degradação ambiental num pequeno espaço de tempo
1965	<i>Diluir</i>	Definir poluição ambiental	Diluir dos poluentes	<ul style="list-style-type: none"> o Degradação ambiental num pequeno espaço de tempo; o Custo reduzido para o setor industrial
1975	<i>Fim-de-linha</i>	Prevenir a poluição direta	Reduzir os poluentes perigosos	<ul style="list-style-type: none"> o Poluentes perigosos transformam-se noutros poluentes o Degradação ambiental num alongado espaço de tempo o Custo elevado para o setor
1995	<i>Reutilizar</i>	Prevenir a poluição	Reciclar e reutilizar	<ul style="list-style-type: none"> o Proteção ambiental o Custo-benefício para o setor industrial
2010	<i>Desenvolvimento sustentável</i>	Definir sistemas sustentáveis e economia circular	Aumentar a eficiência e a sustentabilidade	<ul style="list-style-type: none"> o Ênfase nos ganhos global o Criação de conceitos sustentáveis inovadores o Benefício ambiental

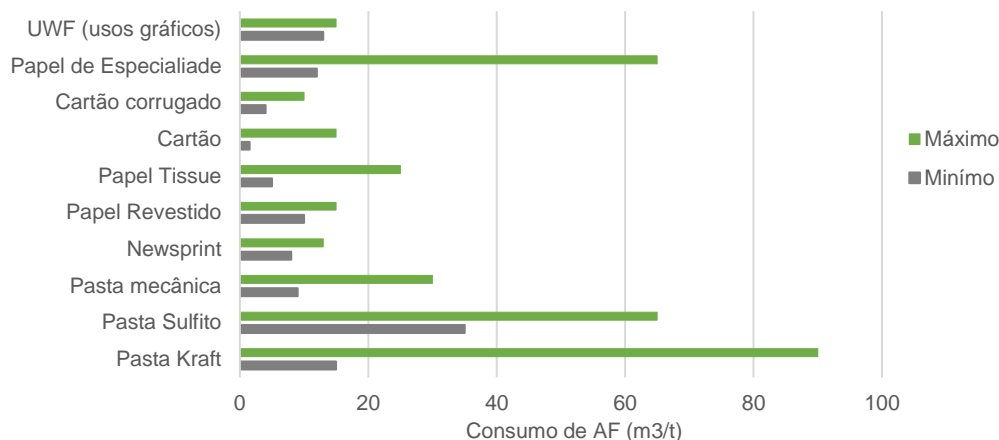
Adaptado do documento BREF Pulp & Paper (2015).

Figura 3.1 | Resumo das principais abordagens utilizadas pela indústria nas últimas décadas em relação à produção de efluentes

Outrora, eram necessários cerca de 500 m³ de AF por tonelada de papel produzido. No entanto, com o avanço tecnológico, o consumo de AF sofreu um decréscimo acentuado para valores de cerca de 10m³ (Gavrilescu, Teodosiu, Gavrilescu, & Lupu, 2008; Holik, 2013). Dados concretos da CEPI (2017) sobre consumos de AF na indústria papeleira mostram que em 2016 utilizava-se aproximadamente menos 40% de AF para a produção de pasta e papel face a 1990.

O consumo de AF na indústria deve ser reportado em metros cúbicos por tonelada de produto (m³/t) (APA, 2012) sendo que, para a produção de papel, este parâmetro pode ter intervalos amplos dependendo da finalidade, do tamanho da fábrica e da eficiência do processo. Deste modo, uma fábrica de pasta de papel pode consumir entre 9 a 90 m³/t de AF e uma fábrica de papel 1,5 a 65 m³/t (Blanco, Hermosilla, & Negro, 2015; Comissão Europeia, 2015). Na figura

seguinte encontram-se os consumos mínimos e máximos de AF por categoria de produção de pasta e de papel.



Baseado em Blanco et al. (2015)

Figura 3.2 | Valores máximos e mínimos de consumo de água por categoria de produção de pasta e papel

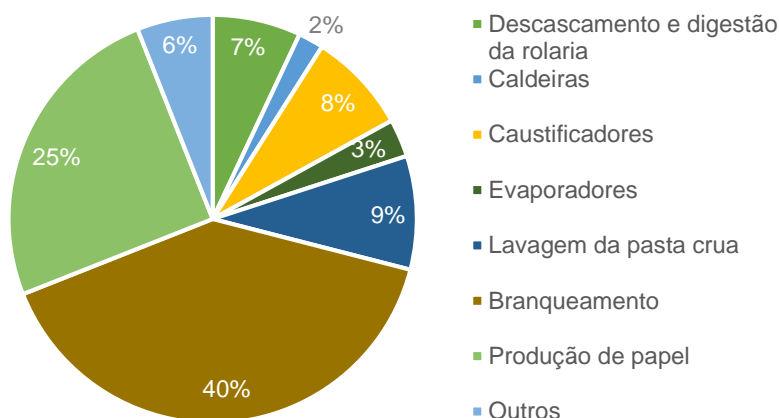
De acordo com Blanco et al. (2015) e o documento BREF *Pulp & Paper* (2015), os intervalos amplos de consumo de AF são justificados da seguinte forma:

- *Cartão e cartão corrugado, papel revestido e papel de newsprint*: consomem menos AF que as restantes por serem papéis de qualidade inferior cuja produção está associada a uma menor introdução de aditivos químicos;
- *Papel UWF, Tissue e de especialidade*: produções de papel mais consumidoras de AF devido à maior exigência de qualidade (papel de especialidade) e, também, devido às diversas mudanças na produção (gramagem, densidades, cores) associadas à necessidade de lavagem da máquina de papel, nestas categorias;
- *Pasta mecânica, sulfito e kraft*: as pastas consomem, geralmente, mais AF que a produção de papel. Dentro desta categoria a pasta mecânica é a menor consumidora, uma vez que são adicionados menos químicos e não existe um meio (AF) de cozimento da madeira. A pasta kraft, principalmente quando branqueada, é a maior consumidora devido à utilização de AF nos clarificadores (ver Figura 2.3), preparação de químicos (licor branco) e no cozimento da madeira.

3.2 Consumos de água fresca

A proveniência da água a utilizar varia consoante a qualidade necessária de cada um dos processos envolvidos na produção de pasta e da manufatura do papel. Deste modo, a água a utilizar pode ser água fresca, ou reciclada a partir de determinadas fases da produção (normalmente dos processos de manufatura do papel para ser reutilizada na produção de pasta) (Bobu & Gavrilescu, 2006).

De modo a analisar os possíveis circuitos de reutilização da ARIT e a redução da utilização de AF na indústria é necessário ter conhecimento dos processos mais consumidores de da mesma ao longo da produção do papel. Esta distribuição encontra-se representada na figura seguinte.



Baseado em Asano et al. (2007) e Olejnik (2011)

Figura 3.3 | Distribuição do consumo de água fresca associado a cada fase da produção da pasta e papel.

3.2.1 Pasta kraft

Devido à falta de informação disponível sobre o consumo de AF total e nos processos de produção da pasta kraft, o aprofundamento do conhecimento do possível volume disponível para reutilização e redução é limitado. No entanto, será utilizado como base de dados, um caso de estudo efetuado por Lovelady et al. (2007) sobre a otimização da utilização de água, redução dos efluentes, e aumento do rendimento da produção da pasta kraft. Neste artigo, os autores utilizaram dados provenientes de uma típica fábrica de pasta kraft branqueada (ECF com sequência ODEDED) de modo a desenvolver sistemas com o fim de criar uma fábrica MIM.

Ao somar todos os caudais de entrada de água fresca na fábrica de pasta, entre a água utilizada para a lavagem, crivagem e branqueamento da pasta crua, Lovelady et al. (2007) concluiu que a fábrica em estudo consumia 52 197 m³ de água fresca por dia na produção de pasta kraft branqueada. Na tabela seguinte estão resumidos os volumes de água fresca utilizados na fábrica estudada para as fases mais relevantes de produção de pasta kraft.

Tabela 3.1 | Consumo de AF estimado para cada fase de produção em m³/dia e em percentagem.

Fase de produção	Água fresca	
	m ³ /dia	%
Total	52 197	100,0%
Lavagem da pasta crua	13 995	26,8%
Crivagem da pasta crua	1 450	2,8%
Clarificador licor verde/licor branco	5 762	11,0%

Branqueamento

30 990

59,4%

Baseado em Lovelady et al. (2007)

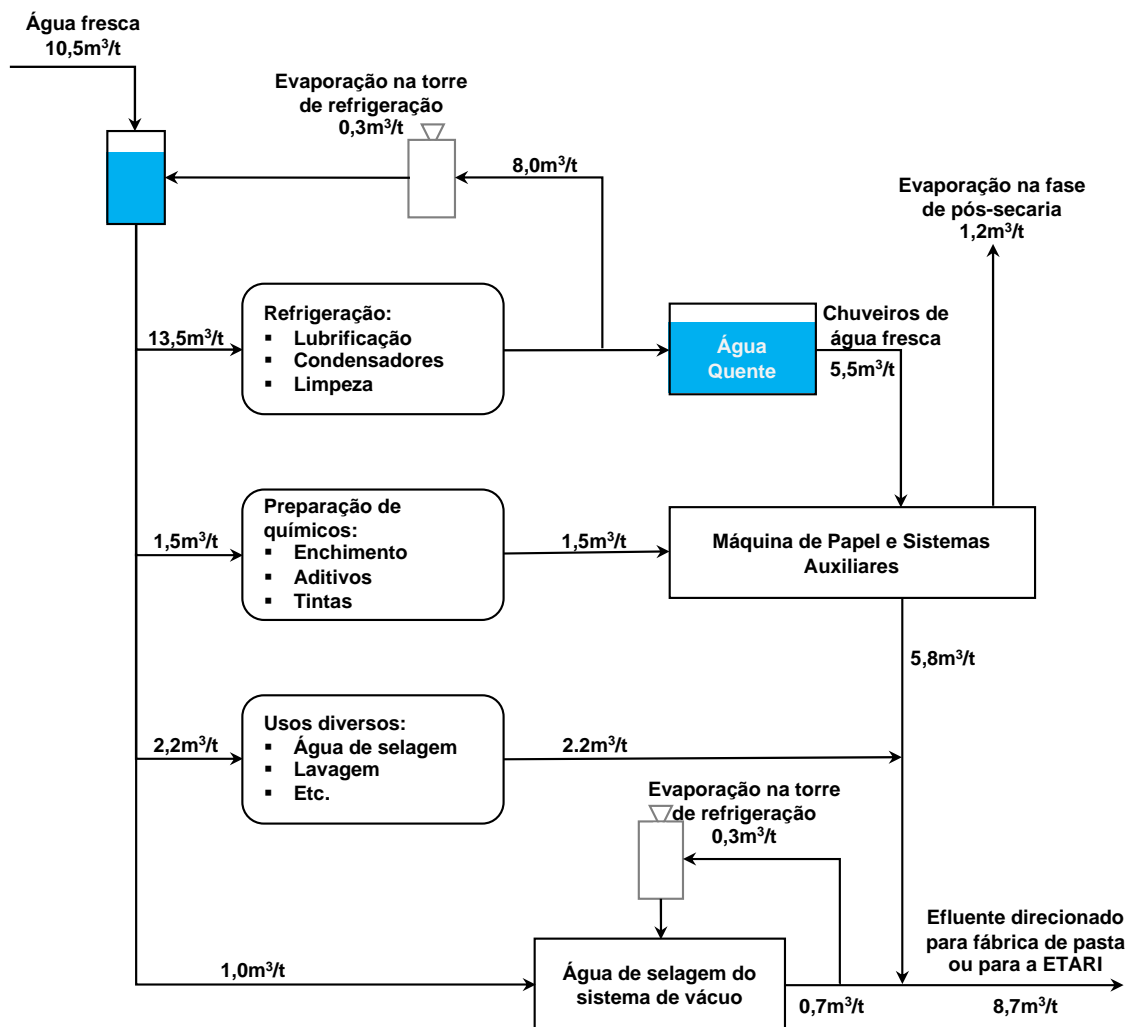
Pela análise da tabela anterior confirma-se que o branqueamento é o processo mais consumidor de água na produção da pasta utilizando cerca de 59% da AF, como mostra a Figura 3.3 de Asano et al. (2007) e Olejnik (2011), seguido pela lavagem da pasta crua que perfaz cerca de 27% do consumo de AF.

3.2.2 Papel UWF

Qualquer categoria de papel implica um elevado consumo de água fresca, que está, por norma, associado a três fases distintas:

- Transporte da pasta e solvente de químicos e aditivos;
- Limpeza e lavagem da máquina de papel – chuveiros nas zonas de formação da tela de papel e de “pré-secaria” (compressão);
- Refrigeração e selagem de bombas.

Na figura seguinte apresenta-se um diagrama simplificado de uma fábrica de papel que inclui as entradas de AF no sistema e também a recirculação de água branca das torres de refrigeração.



Baseado em BREF Pulp & Paper (2015) e Gavrilescu et al. (2008).

Figura 3.4 | Diagrama de entradas de água fresca e saídas de água branca na produção de papel

A partir da figura anterior e com o objetivo de sistematizar os consumos médios de água numa fábrica de papel foi elaborada a tabela seguinte.

Tabela 3.2 | Volume de AF utilizado numa fábrica de papel

Função	Volume AF	
	m³/t	%
Preparação de químicos	1,5	14
Água de selagem	1,0	10
Lavagens (chuveiros)	5,5	52
Usos diversos	2,2	21
Evaporação	0,3	3
Refrigeração ¹	8,0	-
Total AF	10,5	100

¹A refrigeração deve ser realizada com recurso à água branca reutilizada, não fazendo parte da entrada de AF no sistema

O maior consumo de AF está associado aos chuveiros de limpeza das máquinas de papel (que podem ser de alta ou baixa pressão), seguido de usos diversos e preparação de químicos.

3.3 Caracterização qualitativa da AF e dos efluentes produzidos

As características e particularidades de cada categoria de papel não são apenas definidas pela matéria prima e tipo de processo utilizado na sua produção. A qualidade do produto final depende também das características da água (fresca e branca) utilizadas ao longo do processo fabril (U.S. EPA, 2002). Deste modo, e devido à elevada utilização que se dá à água neste setor, as fábricas de pasta e papel veem-se obrigadas a tratar água em duas fases diferentes da produção: a montante de modo a que a água fresca tenha a qualidade desejada nos diversos processos que a requerem; e a jusante do processo fabril, de modo a não introduzir poluentes nos meios recetores (ecossistemas aquáticos) (Comissão Europeia, 2015).

Água fresca

Dependendo da disponibilidade ou das condições locais, as fontes de água fresca utilizadas pela indústria papeleira são as águas superficiais (87,2% em países CEPI), cuja qualidade não corresponde à necessária para a utilização direta nas máquinas de papel, ou água subterrânea (9,7% em países CEPI), que pode não necessitar de tratamento prévio (CEPI, 2017; Jung & Pauly, 2011).

De acordo com Papiertechnische Stiftung e Verband Deutscher Papierfabriken (associações da indústria papeleira alemã), citadas por Jung & Pauly (2011) mais de 90% da água captada superficialmente é tratada por filtração, e cerca de 75% é previamente tratada quimicamente por coagulação/floculação/sedimentação. O recurso a tratamentos biológicos é esporádico, podendo considerar-se negligenciável.

O processo de tratamento da água bruta depende da sua origem, finalidade e tipologia de pasta e papel que se pretende produzir. No entanto, genericamente, os principais objetivos do tratamento da água bruta a montante da sua utilização nas fábricas de pasta e papel são a remoção de sólidos suspensos e dissolvidos (SST e SDT), remoção de matéria orgânica, amaciamento e remoção de sais (condutividade) e, raramente, desinfecção (Comissão Europeia, 2015; Jung & Pauly, 2011).

Na tabela seguinte resumem-se os valores máximos de concentração associados aos vários parâmetros, em função da utilização (produção de pasta química não-branqueada, máquina de papel, incluindo as operações de limpeza e lavagem da tela e dos rolos compressores, caldeiras, refrigeração e selagem de bombas).

Tabela 3.3 | Qualidade da água associada à sua utilização em determinadas operações e processos

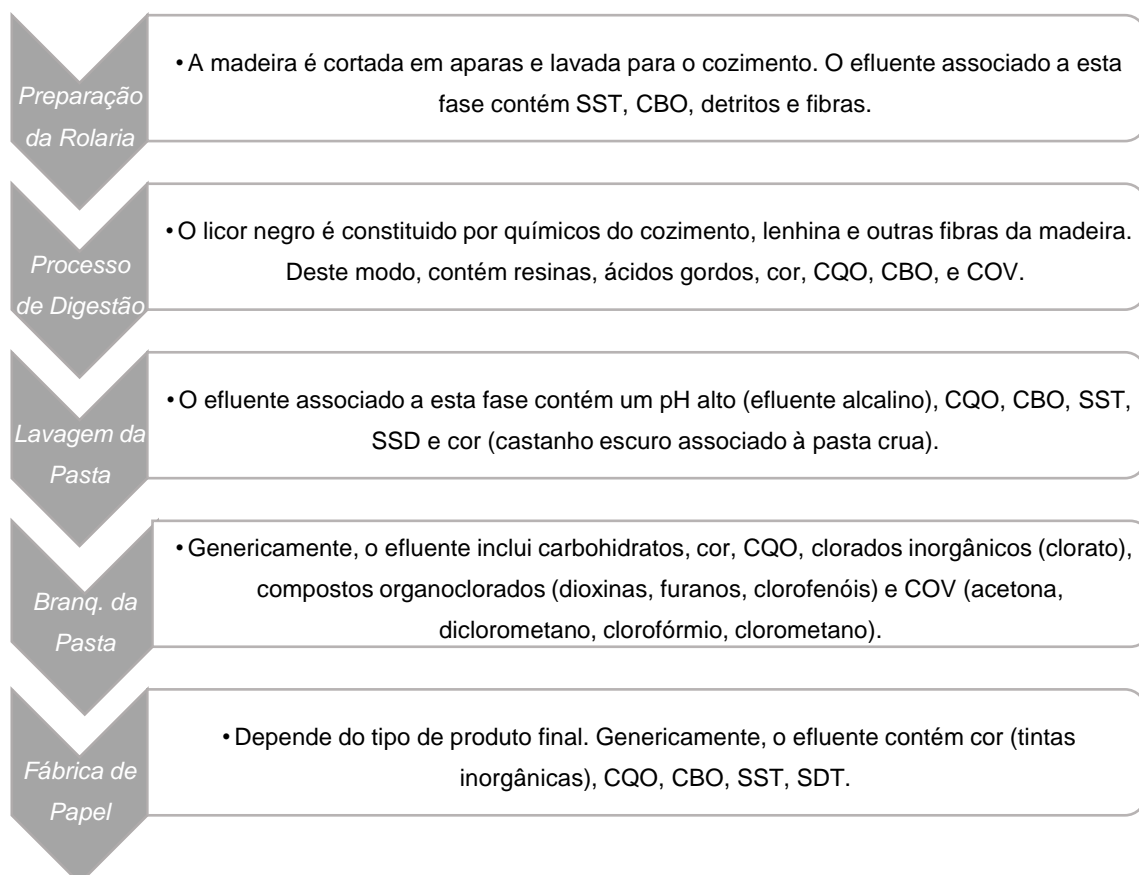
Parâmetros	Unidades	Caldeiras	Refrigeração	Selagem de bombas	Máquina de papel	Pasta Química não-branqueada
Alcalinidade	mg CaCO ₃ /L	< 300	< 350		< 100	< 75
Alumínio	mg/L				< 0,1	
Bicarbonato	mg/L		< 24			
CBO ₅	mg/L		< 25			
Cloro	mg/L				< 50	< 200
Condutividade	µS/cm	< 9		< 2000	< 500	
Cor	un Pt				< 300	< 30
CQO	mg/L		< 75		< 5	
Dureza	mg CaCO ₃ /L	< 0,3	< 650	< 200	< 200	< 100
Ferro	mg/L	< 0,1			< 0,1	< 1
Fosfato	mg/L		< 4			
Fósforo total	mg/L				< 0,2	
Magnésio	mg/L				< 15	
Manganês	mg/L				< 0,05	< 0,5
Nitratos	mg NO ₃ /L				< 1	
pH	Esc. Sorensen	8,5 - 9,5	6,9 - 9,0	> 7	6,5 - 7,5	6,0 - 10,0
Sílica	mg SiO ₂ /L	< 90	< 50		< 40-50	< 50
Sólidos Dissolvidos Totais (SST)	mg/L	< 600	< 500	< 1000	< 300	< 300
Sólidos Suspensos Totais (SST)	mg/L	< 10	< 100		< 5	< 10
Sulfatos	mg/L				< 100	

Adaptado de Blanco et al. (2015), U.S. EPA (2012) e Ordóñez et al. (2010).

Da análise da informação vertida na tabela anterior, importa referir que a produção de papel e de pasta exigem uma qualidade da água superior à da água de refrigeração ou para selagem das bombas. Em qualquer dos casos, a qualidade da água para produção de pasta e de papel é compatível com a presença de alguma dureza e, consequentemente, com valores de condutividade e de SDT não negligenciáveis. No que se refere à produção de papel, pode igualmente apresentar alguma cor, mas os valores de Fe e de Mn deverão ser reduzidos, bem como os valores de Al, Nitratos, Cloretos e Sulfatos, estes dois últimos por forma a limitar o potencial de corrosividade da água nas máquinas de papel. A faixa de valores de pH é relativamente estreita, potenciando-se valores próximos da neutralidade. Por outro lado, a produção de pasta é mais exigente no que se refere à presença de cor e da dureza.

Produção de efluentes

A indústria da pasta e do papel gera um volume substancial de efluentes que têm na sua composição contaminantes como metais pesados, matéria orgânica (lenhina), carência bioquímica de oxigênio (CBO) e carência química de oxigênio (CQO), halogênios orgânicos adsorvíveis (AOX) e fósforo (Lopes, Mounteer, Stoppa, & Aquino, 2013). Estes poluentes devem ser tratados e propriamente geridos de modo a reduzir o seu impacto ambiental potencial no meio recetor (Sanusi & Menezes, 2014). Cada processo da linha de produção de pasta e de papel emite diferentes poluentes, e a sua origem esta representada na figura seguinte.



Adaptado de U.S. EPA (2002) e Sharma et al. (2014).

Figura 3.5 | Principais poluentes associados aos processos de fabrico de pasta e papel

Em termos de emissões de poluentes, as maiores preocupações da indústria são a presença de AOX e da cor escura acastanhada dos efluentes da pasta, que são devidas maioritariamente à lenhina e os seus derivados a partir dos processos de digestão, branqueamento e recuperação de químicos (Garg & Tripathi, 2011; Sharma et al., 2014).

A cor libertada pode potencialmente causar o aumento da temperatura da água e diminuir a capacidade fotossintética das algas presentes no meio recetor e consequentemente diminuir a concentração de oxigénio presente no mesmo (Ragunathan & Swaminathan, 2004). A degradação da lenhina e dos seus derivados é difícil devido às fortes ligações carbono-carbono covalentes, por conseguinte tratamentos biológicos convencionais não são eficientes a remover a cor destes efluentes (Ragunathan & Swaminathan, 2004).

A concentração de AOX nos efluentes da produção de pasta devem-se em maior parte aos compostos de cloro altamente concentrados, presentes na fase de branqueamento, que reagem com a lenhina residual formando poluentes orgânicos persistentes (POP), como dioxinas e furanos, e compostos altamente tóxicos, que também são responsáveis pelas concentrações elevadas de CQO e CBO no efluente (Virkutyte, 2017).

De acordo com o Decreto-Lei nº 236/98 de 1 de agosto, o controlo das emissões geradas na produção deve ser controlado por cada fábrica e a entidade que intervém no processo de licenciamento das utilizações da água deve proceder a fiscalizações periódicas de acordo com o definido na respetiva Licença Ambiental, ou Licença de Utilização de Recursos Hídricos (LURH). Em todo o caso, a Portaria n.º 505/92 de 19 de Junho estabelece valores de emissão máximos específicos para a indústria, que são indicados na tabela seguinte.

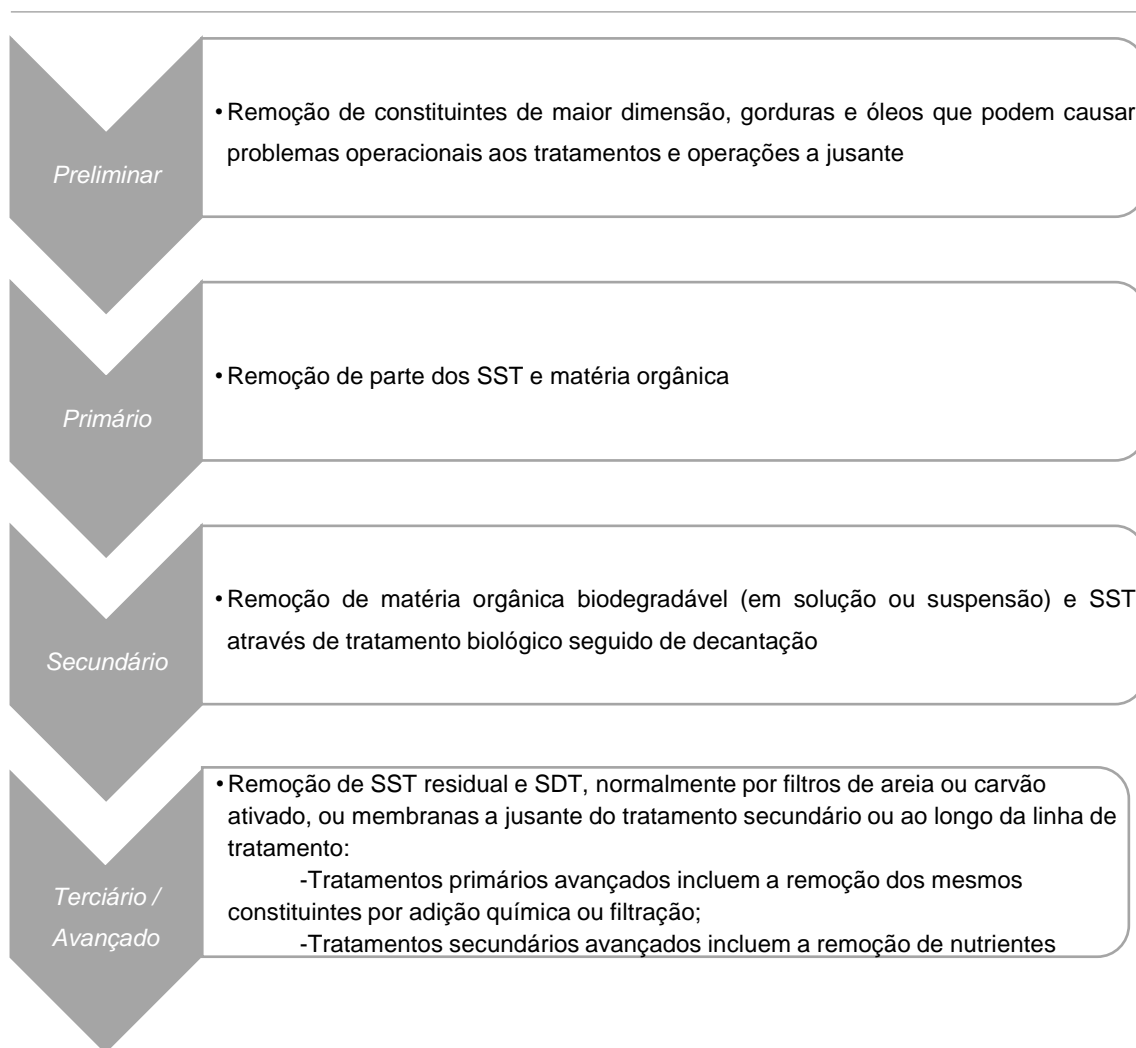
Tabela 3.4 | Normas de descarga das águas residuais do setor da pasta de celulose

Parâmetro	Pasta ao sulfato (kraft)		Fabrico integrado do papel kraft
	Crua	Branqueada	
SST (kg/t)	1,5	3	2
CBO (kg/t)	3	6	4
CQO (kg/t)	35	50	30
Compostos Organoclorados (kg/t)	-	1,5	-

Adaptado da Portaria n.º 505/92 de 19 de Junho, 1992.

3.4 Tratamento de efluentes

O tratamento convencional de água residual em qualquer ETAR, urbana ou industrial, que seja realizado por aplicação de forças físicas, é nomeado de operação unitária, e por aplicação de reações químicas e biológicas, é designado por processo unitário (Asano et al., 2007; Metcalf & Eddy, 2003). As operações e processos unitários podem estar divididos em 4 tipos de fases de tratamento, sumarizadas na figura seguinte.



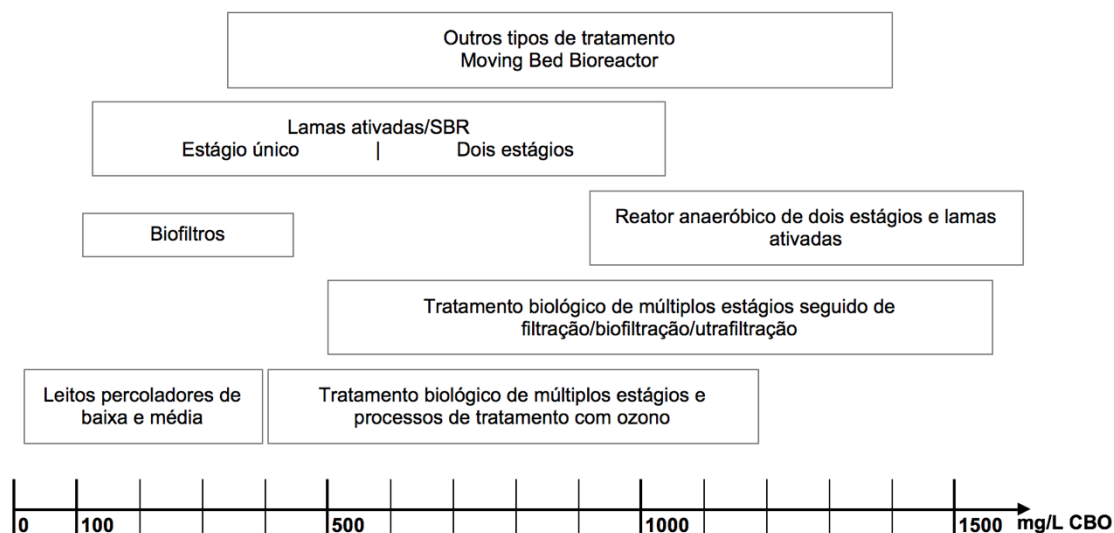
Adaptado de Crites & Tchobanoglous (1998) citado por Asano et al. (2007), e Muralikrishna & Manickam (2017)

Figura 3.6 | Classificação das etapas de tratamento de água residual

A escolha das tecnologias a utilizar na projeção de uma ETARI dependem das características do efluente bruto, sendo que a linha de tratamento deve sempre ser constituída por uma sequência de sequência de etapas (tratamento preliminar, primário e secundário) (CEPI, 2015).

Na figura seguinte⁴ encontram-se representadas as principais tecnologias de tratamento secundário utilizadas pela indústria de acordo com a concentração de CBO do efluente bruto.

⁴ Os limites de concentração expostos servem apenas como um guia generalizado face ao que é aplicado atualmente pelas fábricas de pasta e papel.



Adaptado do documento BREF Pulp & Paper (2015)

Figura 3.7 | Principais tecnologias utilizadas pela indústria e respectivas faixas de aplicação adequadas

Atualmente o tratamento biológico por lamas ativadas é o mais utilizado pela indústria de pasta e papel, sendo utilizado no tratamento de cerca de 60 a 75% das ETAR do setor (Comissão Europeia, 2015). Apesar desta tipologia de tratamento atingir eficiências de remoção elevadas, devido à natureza do efluente bruto, muitas vezes torna-se necessário recorrer-se a bacias de equalização, para atenuar as variações na qualidade do efluente bruto, e também a torres de arrefecimento, de modo à temperatura do efluente não exceder o máximo de 30-35°C à entrada do reator biológico (Comissão Europeia, 2015; Metcalf & Eddy, 2003; Younas, Bano, Zafar, & Qadir, 2019).

Os tratamentos primários e secundários não são, frequentemente, suficientes para trazer a água residual a um nível elevado de qualidade como o necessário para a sua conseguinte valorização (Alexandersson, 2003). Deste modo, torna-se necessário recorrer a tratamentos terciários que removam as substâncias orgânicas e inorgânicas residuais, e até matérias resistentes e dissolvidas que podem danificar o equipamento ou prejudicar o processo onde irá ser aplicada (Comissão Europeia, 2015; De Gisi et al., 2017). As tecnologias avançadas mais utilizadas pela indústria encontram-se resumidas na tabela seguinte.

Tabela 3.5⁵ | Operações e processos unitários utilizados pela indústria na remoção de constituintes residuais na ARIT

Constituintes residuais	Osmose Inversa	Métodos eletroquímicos	Permuta Iônica	Precipitação química	Adsorção (carvão ativado)	Processos avançados de oxidação
SST	✓	✓	✓	✓	✓	
S. Coloidais	✓	✓	✓	✓	✓	
MO particulada	✓	✓				
COT	✓	✓	✓	✓	✓	✓
COV	✓	✓			✓	✓
Amônia	✓	✓	✓			
Nitratos	✓	✓	✓			
Fósforo	✓	✓		✓		
SDT	✓	✓				

Adaptado de Metcalf & Eddy (2003), Asano et al. (2007), Oller et al. (2011) e Vepsäläinen et al. (2011).

A adsorção é um processo onde um adsorvente (é comumente utilizado o carvão ativado), concentra os contaminantes presentes na água residual e é frequentemente aplicado aquando do tratamento biológico e também como agente floculante no tratamento de águas de abastecimento (Asano et al., 2007; Pokhrel & Viraraghavan, 2004). A precipitação química é o método mais utilizado na remoção de fósforo do efluente, através da adição de um coagulante (alumínio ou ferro) (Alves, 2010).

Os processos avançados de oxidação (PAO) são usados para oxidar constituintes orgânicos complexos que se encontram na água residual que são difíceis de degradar por meios biológicos, através da formação de radicais de hidroxila (Metcalf & Eddy, 2003; Oller et al., 2011). Um PAO emergente na comunidade científica é a fotocatalise por dióxido de titânio (TiO₂), que foi demonstrado como eficaz na remoção de cor e minerais dos efluentes do branqueamento ECF de uma fábrica de pasta *kraft* (Oller et al., 2011).

A permuta iônica é um processo unitário em que iões de determinada espécie são trocados/permutados de um material sólido insolúvel por iões de outra espécie em solução (Asano et al., 2007). A maior aplicação desta tecnologia é no processo de amaciamento da água (redução da dureza) onde iões de sódio presentes numa resina catiónica são permutados pelos iões e cálcio e magnésio presentes na água (Alves, 2010; Metcalf & Eddy, 2003).

⁵ Sumário de uma coletânea de informação obtida em artigos e livros sobre tratamentos avançados de água residual doméstica e na indústria papeleira, sendo que os constituintes residuais que cada tecnologia pode remover podem variar.

As tecnologias de membranas como a osmose inversa e tecnologias eletroquímicas (eletrodialise, eletrocoagulação...) estão referenciadas como sendo mais eficazes na remoção de constituintes residuais que as restantes. Estas tecnologias são amplamente utilizadas em regiões climáticas áridas (e.g. Médio Oriente, Ilhas Canárias, Califórnia etc.) na obtenção de água de abastecimento através de água do mar (Iglesias, Ortega, Batanero, & Quintas, 2010; Tietenberg & Lewis, 2011).

Kamali & Khodaparast (2015) afirmam que os processos de membranas são os mais utilizados pela indústria, aquando da reutilização da ARIT, por produzirem efluentes de alta qualidade. A base do processo da osmose inversa é a mesma da filtração, que envolve a separação de matéria particulada e coloidal do efluente, sendo que as membranas permitem a separação de constituintes sólidos (Cheryan, 1998). Esta tecnologia é capaz de produzir água pura dependendo do afluente, contudo necessita de um pré tratamento (frequentemente microfiltração) e produz um volume significativo de concentrado⁶ que pode chegar aos 30% - 40% (Asano et al., 2007; Metcalf & Eddy, 2003).

A utilização de métodos eletroquímicos é atualmente alvo de muitos estudos e ensaios piloto devido aos seus resultados otimistas na obtenção de um efluente de qualidade suficiente para a valorização sem o obstáculo de uma manutenção exigente (mão-de-obra qualificada) e a produção de uma elevada quantidade de lamas como se sucede nos processos físico-químicos convencionais (Sridhar, Sivakumar, Immanuel, & Maran, 2011). Os compostos iónicos presentes no líquido são separados através da utilização de membranas catiónicas ou aniónicas semipermeáveis (Metcalf & Eddy, 2003).

A decisão do tipo de operação ou processo a utilizar numa ETAR deve ser avaliada em detalhe, em paralelo com a análise qualitativa pormenorizada do efluente produzido na fábrica aquando do projeto ou da reabilitação da mesma.

⁶ Depende da operação (pressão e qualidade do afluente à membrana) e manutenção.

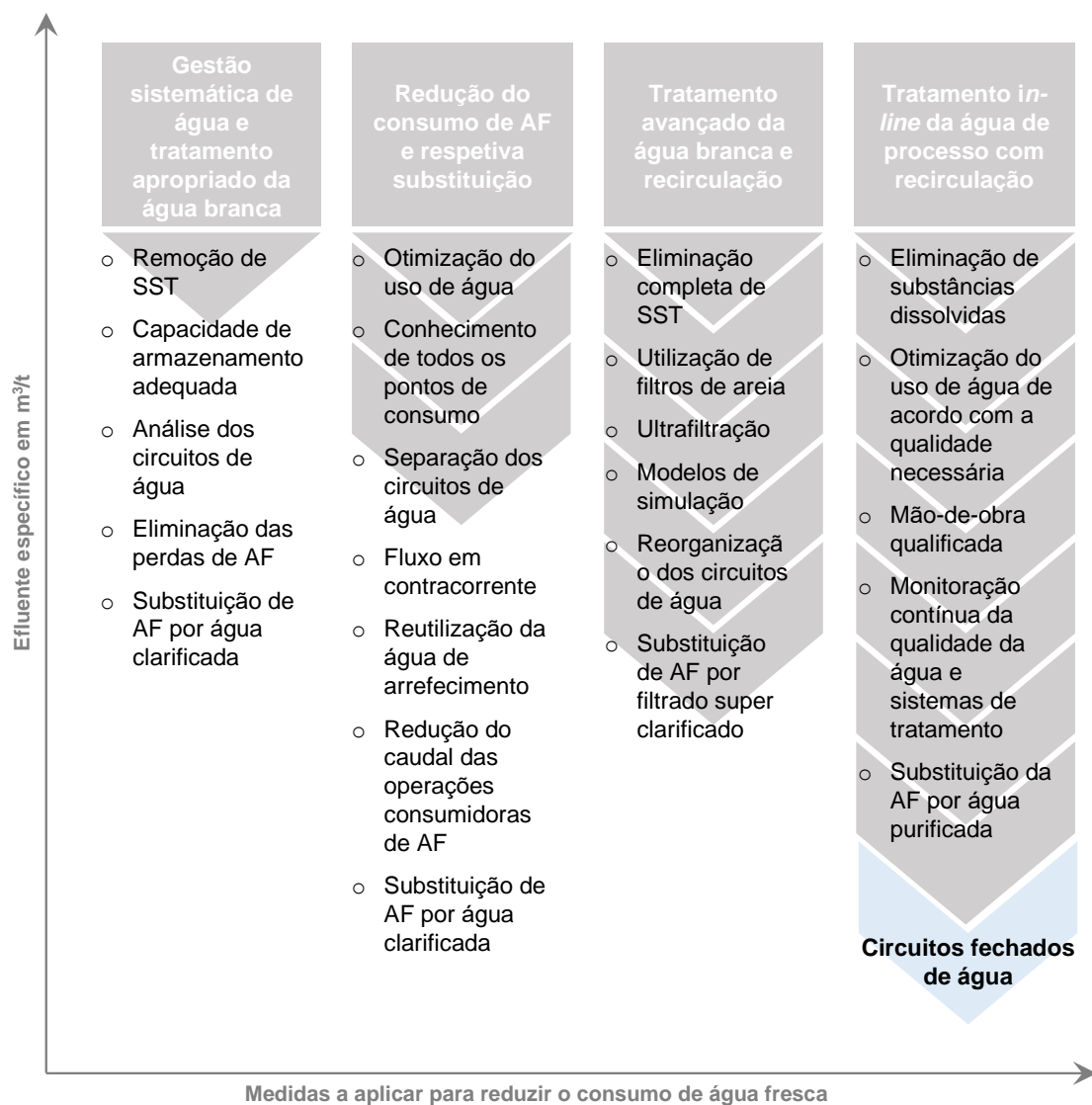
4. Potencial de valorização do efluente tratado

4.1 Redução do consumo de água e valorização do efluente tratado na produção

Mais de metade do território de Portugal continental sofre de défice hídrico, situação que é agravada pelos períodos de seca que afetam o país, com tendência a acentuar-se nas regiões do Alentejo e do Algarve, devido às alterações climáticas (Marecos, 2012). Esta problemática pode ser mitigada através da reutilização de água residual tratada, de origem urbana ou industrial (ART ou ARIT) em usos compatíveis (Karthik et al., 2011; Piadeh et al., 2014). Torna-se claro que as dificuldades na realização de projetos de reutilização de ART ou ARIT incluem questões financeiras e de aceitação pública, pelo que parte da resolução de problemas passa pela promoção da educação ambiental aos cidadãos (Marecos, 2012).

Face à situação da indústria papeleira, cujo desenvolvimento de alternativas e tecnologias que permitam garantir uma produção mais sustentável tem tido progressivamente mais relevância, pretende-se reduzir o consumo de AF ao longo do processo fabril e minimizar os efluentes e as cargas poluentes associadas recorrendo-se a duas abordagens: alteração dos processos fabris e, ou reutilização das águas de processo (Gavrilescu et al., 2008).

Na figura seguinte encontram-se as principais medidas a aplicar nas fábricas de pasta para reduzir o consumo de AF, e consequentemente, reduzir o impacte dos efluentes industriais no meio recetor.



Adaptado do documento BREF Pulp & Paper (2015) e de Blanco et al. (2015).

Figura 4.1 | Medidas a aplicar rumo a um menor consumo de AF e menor carga de poluentes no efluente

Atualmente, na indústria de pasta kraft é possível implementar novos processos nas fábricas de modo a alcançar uma produção menos consumidora de água e menos poluidora. Um destes processos é a deslenhificação por oxigénio, explicada no capítulo 2.1.1.

Ao seguir as MTD (Melhores Técnicas Disponíveis – definidas no BREF Pulp & Paper (2015)), atualmente as fábricas de pasta devem evitar método de descascar a rolaria por via húmida, substituindo por tecnologia de via seca. Esta permuta permite uma redução do caudal dos efluentes encaminhados para as ETAR de 3 -10 m³/t para 0,25 – 2,5 m³/t.

Enquanto a documentação no que concerne à reutilização de efluentes tratados em fábricas de papel é significativa, o mesmo não se sucede face às fábricas de pasta, especialmente de pasta kraft branqueada, devido aos elevados requisitos de qualidade da água de processo.

A intensificação da valorização dos efluentes clarificados/tratados nas fábricas de pasta e papel causa um aumento na concentração de matéria orgânica coloidal e dissolvida e matéria inorgânica nos circuitos de água (Comissão Europeia, 2015). Dependendo das características dos equipamentos presentes na linha de produção, os circuitos fechados de água (Tabela 4.1) podem ter um efeito adverso na gestão da água de processo e a operação da fábrica, afetando a qualidade do produto final e os custos de produção devido ao *build-up* de poluentes presente na água (Asano et al., 2007).

Tabela 4.1 | Vantagens e desvantagens do fecho dos circuitos de água em fábricas de pasta e papel

Vantagens	Desvantagens
Redução das necessidades energéticas de aquecimento e bombagem	Concentrações elevadas de matéria dissolvida e coloidal nos circuitos de água
Otimização das propriedades de desidratação na tela, poupando energia na fase de pós-secaria	Risco de produção de lamas, levando a depósitos e possíveis quebras da tela durante a formação do papel
Poupança de matéria-prima (madeira e AF) devido a menores perdas na produção	Risco da redução da qualidade do produto final, no que diz respeito ao brilho, opacidade, suavidade/rugosidade ou densidade
Eficiências de remoção mais elevadas na ETARI	Risco de corrosão devido à maior concentração de AOX
Diminuição na descarga final do efluente tratado	Risco elevado de obstrução de tubagens e dos chuveiros de alta-pressão

Adaptado de Gleadow & Stratton (2003), Mauchauffee et al. (2012) e BREF Pulp & Paper (2015).

Não obstante, a reutilização é uma prática muito presente no setor industrial e pode ser realizada, por exemplo, a uma escala menor como compensação de circuitos de torres de arrefecimento e circuitos de caldeiras (Gleadow & Stratton, 2003).

Torres de arrefecimento

Enquanto a água de arrefecimento é recirculada dentro da torre, a água de compensação é necessária a fim de restituir a água perdida por evaporação. Por motivação económica e ambiental, deve ser promovida a reutilização de parte da água que não evapora (água de arrefecimento) o que se reflete num aumento da concentração de matéria mineral e matéria dissolvida, que pode causar a corrosão, incrustação ou proliferação de bactérias prejudiciais à saúde humana (e.g. *Legionella*) (Petrochem, 2019). A remoção destes sólidos é atingida através da descarga de parte da água de arrefecimento, sendo posteriormente tratada na ETARI da fábrica em que se insere (U.S. EPA, 2012). A Tabela 3.3 resume a qualidade de água requisitada em torres de arrefecimento.

Caldeiras

A aplicação de água reutilizada para a água de compensação de caldeiras difere pouco do uso de água potável convencional - ambas exigem extenso pré-tratamento. Os requisitos de qualidade da água para a água de compensação da caldeira dependem da pressão a que a caldeira é operada: pressões mais altas exigem água de maior qualidade (Rodrigo et al., 2012). A principal preocupação, tal como nas torres de arrefecimento, é a acumulação de incrustações e a corrosão do equipamento. O controlo ou o tratamento da dureza água reutilizada, assim como do cálcio, magnésio e sílica, é necessário para uso como água de compensação da caldeira (Rodrigo et al., 2012; U.S. EPA, 2012).

A alcalinidade da água reutilizada deve também ser controlada, uma vez que concentrações excessivas podem contribuir para a formação de espumas, resultando em depósitos nas turbinas (Asano et al., 2007; U.S. EPA, 2012). A alcalinidade pode se decompor sob a influência do calor na caldeira, libertando dióxido de carbono, podendo igualmente danificar o equipamento (Asano et al., 2007; U.S. EPA, 2012). A Tabela 3.3 resume a qualidade de água requisitada nas caldeiras.

O efluente tratado também pode ser valorizado através da rega de espaços públicos, de campos agrícolas e recarga de aquíferos (ERSAR, 2016).

Rega Urbana

Na tabela seguinte, resumem-se os parâmetros mais relevantes que caracterizam a qualidade da água para reutilização na rega.

Tabela 4.2 | Parâmetros que caracterizam a qualidade da água para reutilização na rega (adaptado da NP 4434).

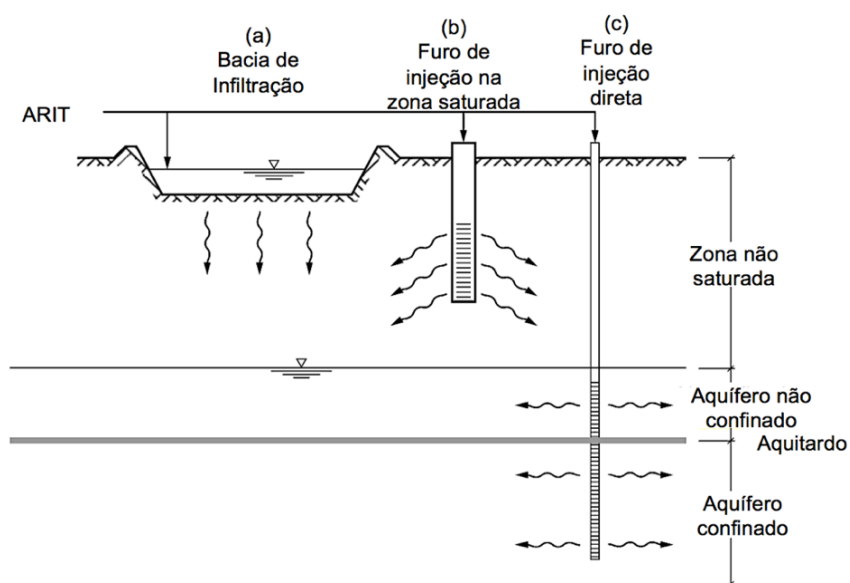
Parâmetros	Unidades	Valor máximo recomendado
pH a 20°C	Esc.Sor	6,5 – 8,4
Alumínio	mg Al/L	5,0
Nitratos	mg NO ₃ /L	50,0
Cloretos	mg Cl/L	70,0
Condutividade a 20°C	µS/cm	1000
Ferro Total	mg Fe/L	5,0
RAS ⁷	-	8
Sólidos Dissolvidos Totais (SDT)	mg/L	640
SST	mg/L	60
Sulfatos	mg SO ₄ /L	575
Coliformes fecais	UFC/100 mL	100

⁷ Razão de Adsorção do Sódio (Sodium Adsorption Ratio, na literatura anglo-saxónica) = $\frac{Na}{\sqrt{\frac{(Ca+Mg)}{2}}}$ com as concentrações expressa em meq/L

Recarga de aquíferos

A recarga de aquíferos, de forma planeada, constitui a quarta maior aplicação da reutilização da água residual, que tem vindo a ser aplicada em países áridos, mas que recentemente tem sido alvo de interesse na Europa (Asano & Cotruvo, 2004).

A valorização da água residual tratada para recarga de aquíferos tem como objetivo o reforço do volume da água subterrânea, especialmente em zonas de escassez de água e pode também atenuar o perigo da intrusão salina em zonas costeiras e servir de armazenamento de água no solo, funcionando como um reservatório subterrâneo (Asano et al., 2007; ERSAR, 2010; Foster & Chilton, 2004). Na figura e tabela seguintes encontram-se designados os métodos de recarga de aquíferos e as condições dos mesmos.



Fonte: Asano et al. (2007)

Figura 4.2 | Métodos de recarga de aquíferos

Tabela 4.3 | Condições de utilização dos diferentes métodos de recarga

Parâmetros	Bacia de infiltração (a)	Recarga indireta por furos de injeção (b)	Recarga direta por furos de injeção (c)
Tipo de aquífero	Livre	Livre	Confinado e livre
Ponto de injeção	Zona não saturada	Zona não saturada	Zona saturada
Tratamento a montante	Secundário	Secundário	Secundário, terciário e de afinação ⁸
Taxa de aplicação	1 000 – 20 000 m ³ /ha.d	1 000 – 3 000 m ³ /furo.d	2 000 – 6 000 m ³ /furo.d
Disponibilidade de terreno	Elevada	Baixa	Baixa
Tempo de vida médio (anos)	>100	5 – 20	25 - 50
Manutenção	Remoção de lamas e de vegetação morta	Limpeza e desinfecção	Desinfecção e rebaixamento de nível

Adaptado de Asano et al. (2007); ERSAR (2010).

⁸ Pode ser necessário tratamento adicional se as características da zona não saturada não garantirem a afinação do efluente

4.2 Casos reais de valorização do efluente tratado

De acordo com Kossar et al. (2013), a preocupação crescente com a utilização eficiente de água, e respetiva criação de circuitos internos de reutilização do recurso em unidades industriais, advém da necessidade de reduzir o consumo de água fresca priorizando utilizações mais nobres e respetiva redução da produção de efluentes. Este conceito é limitado por fatores económicos, qualidade final da água residual tratada e a disponibilidade da mesma. De notar que, em diversos casos, a construção e manutenção para manter estes sistemas (de tratamento e distribuição) estão associadas a custos substancialmente mais elevados face à simples utilização de fontes convencionais (Asano et al., 2007).

Reutilização interna

A informação disponível relativa a casos concretos, isto é, unidades industriais produtoras de papel de qualidade não-exigente, que já implementaram a reutilização de efluentes, é muito significativa. Blanco et al. (2015) refere a reutilização dos efluentes de ETAR municipais em fábricas de papel nos EUA, África do Sul e Espanha. Ensaios à escala industrial realizados na China mostram que é possível eliminar por completo a rejeição do efluentes de uma fábrica de papel Tissue, valorizando-os numa fábrica que produz papel corrugado (Tao et al., 2018).

Blanco et al. (2015) refere igualmente o exemplo da McKinley Paper Mill, localizada no Novo México, nos EUA, que produz papel corrugado a partir de cartão e caixas de cartão corrugado, e em que a taxa de reutilização do seu efluente é de 100%. O processo de tratamento inclui um sistema de microfiltração e osmose inversa, e a fábrica consome apenas 1,2 m³ de água fresca por tonelada de papel produzido, de modo a compensar perdas por evaporação durante a secagem do cartão.

O aumento da taxa de reutilização de água, seja em fábricas de pasta ou papel, com a concomitante diminuição do consumo de água fresca, tem como consequência o aumento da concentração da matéria coloidal, dos sólidos dissolvidos (condutividade da água) e potencialmente de compostos organoclorados, que se acumulam na água de processo (Bobu & Gavrilescu, 2006). Este aspeto terá que ser, necessariamente, acautelado, nomeadamente através da realização de purgas periódicas, pois este aumento não só diminui a eficiência dos processos, comprometendo a qualidade final do papel, como também poderá potenciar a degradação de alguns equipamentos (Alexandersson, 2003; Bobu & Gavrilescu, 2006; U.S. EPA, 2012).

Como referido acima, apesar da reutilização de ARIT ser comumente aplicada em fábricas produtoras de cartão ou papel de qualidade reduzida, esta realidade está longe de ser alcançada por fábricas que produzam pasta kraft branqueada e fábricas de papel UWF, devido à elevada exigência de qualidade do produto final (Hubbe et al., 2016). Apenas alguns estudos demonstram aplicabilidade na valorização do efluente proveniente da produção da pasta *kraft*, normalmente concentrando os estudos em métodos avançados de tratamento de água residual.

Recarga de aquíferos

Esta prática é aplicada atualmente em diferentes países, principalmente em zonas áridas, recorrendo à água residual urbanatratada, e não a ARIT. Foster & Chilton (2004) estudaram a aplicabilidade da recarga de aquíferos por bacia de infiltração em Lima, Peru; Wadi Dhuleil, Jordânia; Mezquital Valley e Leon, México; e em Hat Tai, Tailândia. A conclusão deste estudo foi a necessidade de aumentar o controlo e investigação da matéria, sendo necessário aumentar a profundidade, e também a vedação e impermeabilidade, dos furos de água potável nas imediações da recarga dos aquíferos assim como a necessidade de monitorar a qualidade da água residual tratada a ser utilizada, principalmente relativamente à formação de trihalometanos (Foster & Chilton, 2004).

Do mesmo modo, em Koksijde, na Bélgica, a recarga de aquíferos é realizada através de água residual urbana tratada por meio de uma bacia de infiltração de cerca de 18 mil m², perfazendo uma capacidade de infiltração de 2,5 milhões de m³/ano (Van Houtte & Verbauwhede, 2008). Após a recarga, e assumindo um tempo de residência no solo de 40 dias de modo a favorecer a eliminação de patogénicos, a água é recapturada. Após três anos do início da recarga do aquífero foram infiltrado 7 milhões de m³, e a condutividade da água recapturada diminuiu de 800 µS/cm (em 2002) para 300 µS/cm (em 2005) (Van Houtte & Verbauwhede, 2008).

Rega urbana, paisagística e usos recreativos

Em território nacional a rega urbana ou/e paisagista com água residual tratada, apesar de ainda ser pouco praticada, tem maior presença na região algarvia onde ocorrem períodos de escassez de água com maior frequência e onde as fontes superficiais de água doce são reduzidas (Leitão et al., 2016). Em 2013, apenas 4% do caudal de água residual tratada pelo Sistema Intermunicipal de Abastecimento de Água e Saneamento do Algarve, foi reutilizado sendo que 2% foram utilizados na rega dos recintos das ETAR e os outros 2% na rega e campos de golfe e de forma residual na lavagem de contentores e arruamentos (Águas do Algarve S.A., 2015). Apenas ao considerar esta região de Portugal é notável o potencial existente para a valorização de ARIT em usos urbanos e em rega de campos de golfe e até mesmo rega em campos agrícolas que perfazem 5% e 59% das necessidades de água da região, respetivamente (Cruz, 2015).

4.3 Enquadramento legal na valorização da ARIT

A reutilização é uma alternativa integrada e progressivamente mais viável na solução dos problemas atuais, como a escassez de água potável e as emissões de poluentes associados às águas residuais (U.S. EPA, 2012). No entanto torna-se essencial integrar programas de valorização das águas residuais tratadas, industriais e urbanas, nas normas e legislações atuais e, também, aumentar a sensibilização dos potenciais utilizadores para a reutilização (MAOTE, 2015; Rodrigo et al., 2012).

A principal regulamentação que enquadra a reutilização da água residual que pode ser enquadrada num contexto industrial, que inclui os documentos apresentados na tabela seguinte.

Tabela 4.4 | Regulamentação associada à valorização de água residual

Regulamentação	Descrição sumária
<i>Decreto Regulamentar 23/95 de 23 de agosto (1995)</i>	Define o Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais; As águas residuais das indústrias de celulose e papel não devem ser tratadas em conjunto com as águas residuais domésticas.
<i>Decreto-Lei nº 236/98, de 1 de agosto (1998)</i>	Estabelece os requisitos de qualidade para a proteção do meio aquático e para melhorar a qualidade das águas em função dos seus usos;
<i>Norma Portuguesa NP 4434 (2015)</i>	Reutilização de águas residuais tratadas na rega
<i>Recomendação IRAR n.º 2 (2007)</i>	Utilização de águas residuais tratadas, desde que a mesma seja técnica e economicamente viável, apresentando soluções para os desafios na implementação desta atividade;
<i>Guia Técnico 14 (ERSAR, 2010)</i>	Pretende colmatar a lacuna de informação, em publicações de língua portuguesa, e disponibilizar ao sector um instrumento que promova a utilização ambientalmente sustentável e economicamente mais vantajosa deste recurso, salvaguardando a saúde pública
<i>Diretiva 2010/75/EU (2010)</i>	Relativa às emissões industriais (prevenção e controlo integrados da poluição) - Diretiva que dá origem ao BREF Pulp & Paper 2015

Regulamentação (continuação)	Descrição sumária (continuação)
<i>Decisão da Comissão Europeia 2014/687/EU (2014)</i>	Estabelece as conclusões sobre as melhores técnicas disponíveis (MTD) para a produção de pasta de papel, papel e cartão, nos termos da Diretiva 2010/75/UE do Parlamento Europeu e do Conselho
<i>BREF Pulp & Paper (2015)</i>	Discute as melhores técnicas disponíveis (MTD) e os processos envolvidos na produção de pasta e papel em fábricas de produção integrada, ou não integrada
<i>ISO 16075-01 (2015)</i>	Guia para a utilização de água residual tratada em projetos de irrigação - Parte 1: A base de um projeto de reutilização para a irrigação

5. Metodologia

Este trabalho foi desenvolvido a partir de uma parceria estabelecida entre a FCT-NOVA e a The Navigator Company, e a sua elaboração pode ser dividida nas fases representadas na figura seguinte.

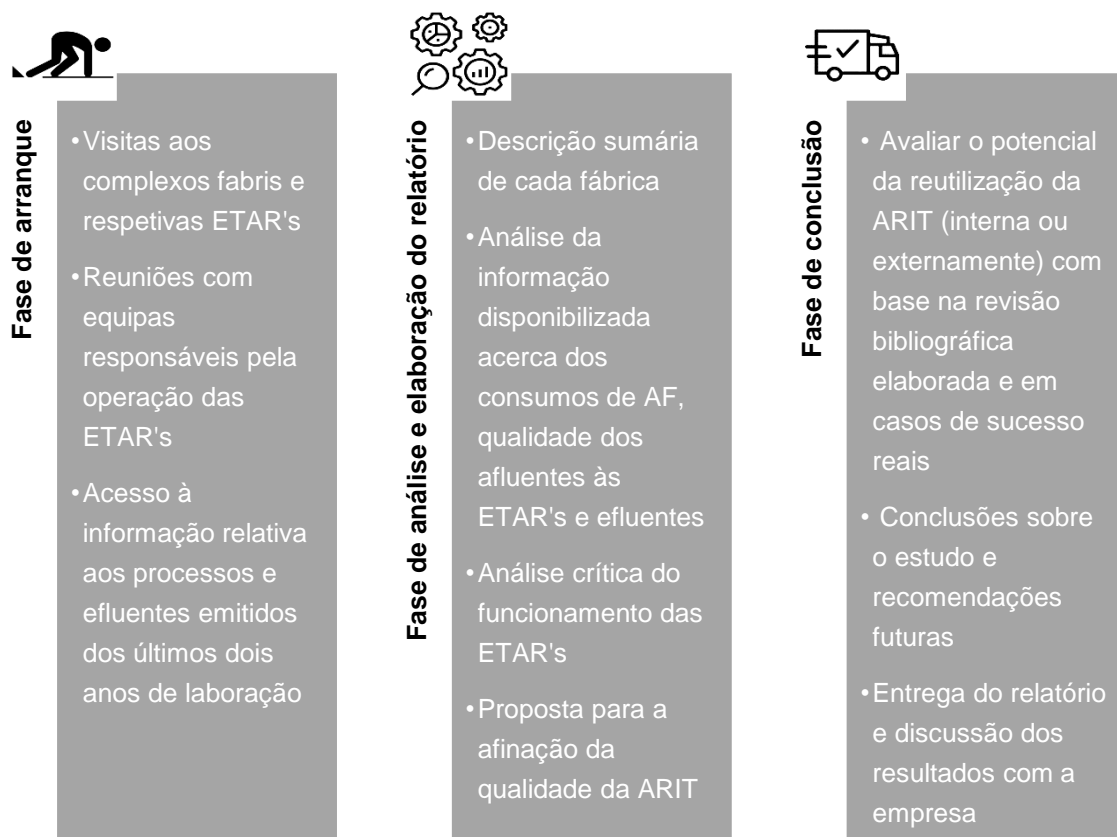


Figura 5.1 | Metodologia aplicada na elaboração do projeto

Esta metodologia foi aplicada na elaboração do projeto pela FCT-NOVA, tendo sido igualmente vertida nesta dissertação. Uma vez que foram analisados dois complexos industriais distintos, a fase de análise e elaboração do relatório é efetuada, separadamente para cada fábrica, nos capítulos 6 (Navigator Tissue Ródão, S.A.) e 7 (Navigator Pulp Setúbal, S.A.), enquanto as conclusões se encontram se nos capítulos 8, 9 e 10.

6. Navigator Tissue Ródão, SA.

6.1 Informação genérica

A NTR é uma fábrica não-integrada produtora de papel Tissue, que utiliza maioritariamente como matéria prima a pasta celulósica de eucalipto branqueado do tipo *Bleached Eucalyptus Kraft Pulp* (BEKP), cujo processo de produção foi explicado no capítulo 2.3.1, que recebe da CELTEJO através de uma conduta (*pipeline*). A fábrica é constituída por duas máquinas de papel, MP1 e MP2, com uma capacidade unitária anual de aproximadamente 30 mil toneladas.

A NTR conta com 206 colaboradores (dados de 2016/2017) e o período de laboração é de 24/24 horas (três turnos de 8 horas).

6.2 Consumo de água na NTR

6.2.1 Características quantitativas

A NTR possui três caudalímetros: a montante do processo fabril, a montante da MP2 e a jusante da ETARI. Na tabela seguinte resumem-se os valores mensais de produção de papel, de consumo de água fresca, consumo de água da rede e efluente rejeitado durante o ano de 2017.

Tabela 6.1| Produção e consumos associados à NTR – Ano de 2017.

	<i>Produção de papel</i>	<i>Água fresca</i>		<i>Água da rede</i>	<i>Efluente</i>	
	<i>t</i>	<i>m³</i>	<i>m³/t</i>	<i>m³</i>	<i>m³</i>	<i>m³/t</i>
<i>Janeiro</i>	4 909	39 772	8,10	328	39 726	8,09
<i>Fevereiro</i>	4 540	39 663	8,74	299	40 180	8,85
<i>Março</i>	5 208	43 067	8,27	403	45 272	8,69
<i>Abril</i>	5 018	43 471	8,66	518	42 328	8,43
<i>Maio</i>	3 924	43 968	11,20	1 012	37 372	9,52
<i>Junho</i>	4 707	61 536	13,07	1 012	43 889	9,32
<i>Julho</i>	4 535	59 522	13,12	878	42 225	9,31
<i>Agosto</i>	4 257	56 017	13,16	1 703	35 303	8,29
<i>Setembro</i>	4 270	58 494	13,70	1 046	32 464	7,60
<i>Outubro</i>	5 167	60 339	11,68	1 134	44 103	8,53
<i>Novembro</i>	5 010	49 660	9,91	959	40 516	8,09
<i>Dezembro</i>	4 654	49 836	10,71	725	41 680	8,95
Total	56 204	605 345	10,77	10 017	485 058	8,63

A água utilizada na NTR é maioritariamente água fresca adquirida à CELTEJO (cujo custo é de 0,04€/m³), sendo a água da rede pública apenas utilizada para abastecer os edifícios, casas de banho e para a rega do complexo industrial, representando 2% de toda a água utilizada pela fábrica.

Considerando o valor médio europeu de consumo de água fresca nas fábricas de papel Tissue, 10 m³/t, verifica-se que o consumo específico de água fresca da NTR, que é de 10,8 m³/t, está de acordo com aquele valor.

6.2.2 Características qualitativas

Por forma a avaliar as características limite exigidas à água a utilizar nas máquinas de papel, em termos do equilíbrio calco-carbónico, foi utilizado o programa EQUILWIN[®], que se socorre do método de Hallopeau-Dubin, tendo-se utilizado como dados de base, baseados na Tabela 3.3, os seguintes valores:

- Temperatura – 20°C (valor médio admitido);
- pH – 7,0 (valor médio admitido);
- Alcalinidade – 100 mgCaCO₃/L;
- Ca²⁺ - 13,8°F⁹ (valor estimado com base nas concentrações máximas admitidas relativas aos parâmetros Dureza e de Magnésio);
- Condutividade – 500 µS/cm;
- Cloretos – 50 mgCl/L;
- Sulfatos – 100 mgSO₄/L.

Na tabela seguinte resumem-se os resultados obtidos e, também, na Figura I.1 do Anexo I, a representação gráfica da qualidade da água limite exigida para as máquinas de papel.

Tabela 6.2 | Resumo dos resultados obtidos através do recurso ao programa EQUILWIN[®] sobre as características da água a utilizar nas máquinas de papel.

Parâmetros	Unidades	Valor/Comentário
<i>Temperatura</i>	°C	20
<i>pH</i>	Esc. Sorensen	7,0
<i>TAC</i>	°F	10
<i>Cálcio</i>	°F	13,8
<i>Resíduo seco</i>	mg/L	358
<i>pH_{saturação}</i>	Esc. Sorensen	7,8
<i>CO₂ livre</i>	mg/L	18,3
<i>Índice de saturação</i>	-	-0,77
<i>Natureza da água</i>	-	Agressiva
<i>CO₂ agressivo</i>	mg/L	12,6
<i>Potencial de precipitação de CaCO₃</i>	mg/L	-28,5
<i>Índice de estabilidade (Ryznar)</i>	-	8,5
<i>Tendência de acordo com o índice de Ryznar</i>	-	Corrosão importante

⁹ °F – grau Francês (equivalente a 10 mgCaCO₃/L)

A água utilizada na NTR é majoritariamente água fresca adquirida à CELTEJO, que é responsável pela sua captação (rio Tejo) e tratamento (sequência coagulação, floculação, sedimentação e filtração). Na tabela seguinte resume-se a informação disponibilizada pela empresa, relativa à qualidade da água fresca no ano de 2009.

Tabela 6.3 | Qualidade da água fresca consumida pela NTR (ano de 2009).

Parâmetros	Unidades	Média	Máximo	Mínimo
Alcalinidade	mg CaCO ₃ /L	50	85	6,9
Alumínio	mg Al /L	< 1,0	1,4	0,2
Bicarbonatos	mg HCO ₃ /L	61,6	104	8,4
Cálcio	mg Ca/L	35,8	53,9	6,7
Carbonatos	mg CO ₃ /L	22	51	2,2
Cloretos	mg Cl/l	50,9	73,4	7,7
Condutividade a 20°C	µS/cm	469	697	81
Cor	un Pt	8	14	2
Dureza total	mg CaCO ₃ /L	144	213	31
Ferro	mg Fe /l	0,38	0,9	< 0,2
Fosfatos	mg PO ₄ /L	0,4	0,6	< 0,3
Magnésio	mg Mg /L	12,7	18,9	3,5
Nitratos	mg NO ₃ /L	5,3	7,9	2,8
Oxidabilidade	Mg O ₂ /L	5,4	9	3,4
pH	Esc. Sorensen	7,1	7,5	6,8
Potássio	mg K/L	4,51	5,9	2,2
Sílica	mg/L	5,3	8,9	3,8
Sódio	mg Na/L	42,5	57,4	8,4
Sólidos Dissolvidos Totais (SDT)	mg/L	358	491	90
Sólidos Suspensos Totais (SST)	mg/L	< 3	< 3	< 3
Sulfatos	mg SO ₄ /l	119	190	28

Da comparação entre a qualidade da água fresca (tabela anterior), com as exigências de qualidade em função das utilizações (Tabela 3.3), importa referir o seguinte:

- A faixa dos valores da dureza é relativamente ampla (31 a 213 mg CaCO₃/L), pelo que a classificação da água fresca varia entre “Macia”, isto é, valores inferiores a 60 mg CaCO₃/L, e “Dura” (valores entre 150 e 300 mg CaCO₃/L). No entanto, aqueles valores são compatíveis com os usos mais exigentes, associados quer às máquinas de papel quer à selagem de bombas (valores < 200 mg CaCO₃/L);
- Os valores de Cálcio são sempre inferiores ao valor máximo recomendado de 55 mg Ca/L, estimado a partir dos valores de Dureza de 200 mg CaCO₃/L e do valor de Magnésio de 15 mg Mg/L;

- Os valores de Magnésio, apesar de, por vezes, serem superiores ao valor máximo recomendado de 15 mg Mg/L, não parecem comprometer a utilização da água nas máquinas de papel;
- A presença de Bicarbonatos (valor médio de 61,6 mg HCO₃/L e valor máximo de 104 mg HCO₃/L) é superior ao valor recomendado para as águas de refrigeração (<24 mg HCO₃/L). No que se refere à presença de Carbonatos, não está referido qual o valor máximo recomendado;
- A presença de Nitratos (valores entre 2,8 e 7,9 mg NO₃/L) é superior ao valor máximo recomendado de 1 mg NO₃/L para as máquinas de papel, contribuindo para o parâmetro Condutividade;
- A presença de Sódio e de Potássio (que não estão referenciados nas exigências de qualidade associadas aos diferentes usos), contribuem para o parâmetro Condutividade;
- A Condutividade reflete a maior ou menor mineralização de uma água, isto é, a presença de cátions, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺ e K⁺, e de aniões, HCO₃⁻, SO₄²⁻, Cl⁻ e NO₃⁻, e, apesar do valor mínimo ser muito reduzido (81 µS/cm), apresenta um valor médio que não é significativamente inferior ao valor máximo registado, 469 e 697 µS/cm, respetivamente. O valor médio é próximo do valor máximo recomendado para o uso mais exigente (500 µS/cm para as máquinas de papel), o que indicia que, por vezes, aquele valor é ultrapassado;
- Apesar da presença de sólidos em SST ser marginal, a presença de SDT, quer em termos do valor máximo (491 mg/L), quer em termos do valor médio (358 mg/L), é superior ao valor máximo recomendado para o uso mais exigente (lavagem das máquinas de papel) e que é de 300 mg/L;
- Os valores de Condutividade e de SDT estão correlacionados e, apesar de serem próximos ou até superiores aos valores máximos recomendados, não parecem comprometer o uso mais exigente associado às máquinas de papel;
- Os valores da alcalinidade e da cor são inferiores aos valores recomendados, para qualquer dos usos;
- Os valores médios, quer dos Cloretos quer dos Sulfatos, são superiores aos valores máximos recomendados (máquinas de papel), apesar de, no caso dos Cloretos, aquela diferença ser marginal. A presença destes compostos pode contribuir para acentuar as características corrosivas da água;
- A concentração de Fe (valor médio de 0,38 mg Fe/L e valor máximo de 0,9 mg Fe/L) é superior ao valor recomendado (0,1 mg Fe/L, para as máquinas de papel). Relativamente ao Mn, não foi disponibilizada informação;
- Os valores de pH (que variam entre 6,8 e 7,1) estão dentro da faixa mais exigente recomendada (6,5 – 7,5);
- A presença de Al (cuja concentração varia entre 0,2 e 1,4 mg Al/L) é superior ao valor limite recomendado para o uso mais exigente (máquinas de papel). A sua presença poderá decorrer da utilização do coagulante alumínico no tratamento da água captada;

- Os valores de oxidabilidade, que variam entre 3,4 e 9,0 mg O₂/L, indiciam a presença de substâncias oxidáveis que poderão ser tributáveis, por exemplo, à presença de Fe e de Mn, como também, à presença de alguma matéria orgânica. A comparação destes valores com o valor máximo recomendado da CQO (5 mg O₂/L) não parece ser possível, nomeadamente porque o erro associado à determinação daquele parâmetro, numa faixa de valores tão reduzida, é muito significativo. Admite-se, no entanto, que os valores de oxidabilidade não comprometem o uso mais exigente associado às máquinas de papel.
- Face aos valores de oxidabilidade registados, o valor da CBO₅ que lhe está associado deverá ser inferior ao valor recomendado para o uso da água na operação de refrigeração (25 mg O₂/L);

As características da água fresca em termos do equilíbrio calco-carbónico foram igualmente avaliadas através do recurso ao programa EQUILWIN®, tendo-se utilizado como dados de base os seguintes valores:

- Temperatura – 20°C (valor médio admitido);
- pH – 7,1 (valor médio);
- Alcalinidade – 50 mgCaCO₃/L (valor médio);
- Ca²⁺ - 35,8 mg/L (valor médio);
- Condutividade – 469 µS/cm (valor médio);
- Cloretos – 50,9 mgCl/L (valor médio);
- Sulfatos – 119 mgSO₄/L (valor médio).

Na tabela e na figura seguintes resumem-se os resultados obtidos e, também, na Figura I.2 do Anexo I, a respetiva representação gráfica da qualidade da água fresca.

Tabela 6.4 | Água fresca. Equilíbrio calco-carbónico. Resumo dos resultados obtidos através do recurso ao programa EQUILWIN®.

Parâmetros	Unidades	Valor/Comentário
Temperatura	°C	20
pH	Esc. Sorensen	7,1
TAC	°F	5
Cálcio	°F	8,95
Resíduo seco	mg/L	336
pH _{saturação}	Esc. Sorensen	8,25
CO ₂ livre	mg/L	7,3
Índice de saturação	-	-1,15
Natureza da água	-	Agressiva
CO ₂ agressivo	mg/L	6,4
Potencial de precipitação de CaCO ₃	mg/L	-14,5
Índice de estabilidade (Ryznar)	-	9,4
Tendência de acordo com o índice de Ryznar	-	Corrosão muito relevante

Em síntese, as características da água fresca, apesar de apresentar valores de Dureza, Condutividade e SDT, próximos ou até superiores aos valores máximos recomendados para o uso mais exigente (máquinas de papel), não parecem comprometer a sua utilização, nomeadamente no que se refere à qualidade do produto final. A água é agressiva e corrosiva e apresenta valores de Ferro, Cloretos e Sulfatos ligeiramente superiores aos valores máximos recomendados.

6.2.3 Utilização da água

De acordo com a informação disponibilizada, a fábrica reutiliza uma pequena fração da água branca em alguns processos considerados menos nobres, que se indicam na tabela seguinte. A água reutilizada é sujeita a um processo de clarificação (flotação e filtração), não tendo sido possível apurar quais os caudais.

Tabela 6.5 | Usos de água na fábrica da NTR

Área	Tipo de água	Situação atual
Chuveiros MP	Fresca	2 chuveiros de alta pressão com água fresca 25 bar
	Clarificada	Chuveiros de baixa pressão
Selagem de bombas de vácuo	Fresca	Chuveiros de baixa pressão e lubrificação de rolos com água clarificada-filtrada
	Fresca	Circuito fechado com torre de refrigeração (TR)
Refrigeração de óleo em unidades hidráulicas	Fresca	Água fresca como make-up; sai do tanque AF na MP1 e da linha de AF na MP2
Mangueiras de limpeza MP	Fresca	Fechadas com tanque AF sem arrefecimento em ambas as PM
	Clarificada	MP1 – Água fresca de 25 bar
Caldeiras	Fresca	MP2 – Água clarificada
ETAR	Fresca	Água fresca da MP1
Selagens de bombas, agitadores, crivos, refinadores	Fresca	Água fresca da MP1 para preparadores de floculante, selagem das bombas, lavagem das centrífugas e lavagens gerais
	Fresca	Selagem com água fresca exceto refinadores
Químicos	Fresca	Selagem de refinadores MP1
	Fresca	Água quente aquecida usada no sistema de <i>coating</i> do Yankee;
	Fresca	Água fresca da diluição de aditivos (consumo de aditivos dependentes da tipologia de papel)

Adaptado de Arantes (2017)

6.3 Licença de Utilização de Recursos Hídricos

A LURH n.º L007190.2018.RH5A emitida a 11 de abril de 2018 com validade até dia 10 de agosto de 2020, define os objetivos quantitativos e qualitativos associados ao efluente tratado da NTR, que se resumem nas tabelas seguintes.

Tabela 6.6 | Caudais e volumes. Limites de descarga definidos na LURH.

Parâmetros	Unidades	Valor
Caudal máximo descarga	m³/h	50
Caudal médio de descarga diária	m³/d	1 470
Caudal de ponta	m³/h	120
Volume médio mensal afluente	m³/mês	44 109,50
Volume anual descarregado	m³/ano	536 659,50

Tabela 6.7 | Concentração e carga. Limites de descarga definidos na LURH.

Parâmetros	VLE	Carga max. admissível (kg/d)	Valor médio anual max. admitido (kg/t)
Até junho de 2019			
pH (Esc. Sorensen)	6 a 9	-	-
Cor (esc. Pt-CO)	100	-	-
CBO5 (mg O ₂ /L)	32	47	-
CQO (mg O ₂ /L)	170	250	0,96
SST (mg SST/L)	32	47	0,2
Azoto Total (mg N/L)	9	13,2	0,07
Fósforo Total (mg P/L)	1	1,5	0,007
A partir de julho de 2019			
pH (Esc. Sorensen)	6 a 9	-	-
Cor (esc. Pt-CO)	100	-	-
CBO5 (mg O ₂ /L)	22	32	-
CQO (mg O ₂ /L)	125	184	0,86
SST (mg SST/L)	17	25	0,18
Azoto Total (mg N/L)	7	10,3	0,06
Fósforo Total (mg P/L)	0,82	1,2	0,006

Refere igualmente um período excecional, a definir pela Entidade Licenciadora em função das condições meteorológicas e, ou das condicionantes quantitativas e qualitativas do meio recetor, em que o Valor Limite de Emissão (VLE) do Fósforo total passa de 0,82 para 0,5 mg P/L e a carga máxima admissível passa de 1,2 para 0,7 kg/d.

Relativamente aos dois últimos parâmetros da tabela anterior (azoto e fósforo), e por forma a procurar garantir o seu cumprimento, a NTR deverá, até dia 30 de junho de 2019, promover a adaptação da sua ETARI. Até lá, as normas de qualidade aplicáveis são as indicadas na parte superior da Tabela 6.7.

De acordo com a LURH, “o número máximo de amostras compostas não conformes durante um ano, expressas em carga mássica por dia (carga máxima admissível), não pode ultrapassar um número máximo de cinco, desde que cumprida uma periodicidade de amostragem mínima semanal (52 amostras/ano)”. No entanto, caso sejam efetuadas mais amostragens que o mínimo, o número de amostras não conformes durante um ano devem estar de acordo com o estabelecido no Decreto-Lei n.º 152/97 de 19 de junho, reproduzido na Tabela II.1 do Anexo II.

Importa também referir que a alínea 8.b) da LURH estabelece que nenhum valor presente no resultado da análise de uma amostra composta diária pode ultrapassar 130% do valor correspondente à carga máxima admissível do VLE, expressa em unidade de concentração (mg/L), tanto para a LURH atual como para amostragens realizadas a partir de julho de 2019, valores que se encontram na Tabela 6.7.

6.4 ETARI

6.4.1 Caracterização dos afluentes

Na tabela seguinte resume-se a caracterização qualitativa do efluente bruto da NTR, valores pontuais relativos a uma única análise – 13/04/2018, e valores relativos a amostragens compostas de 29 de maio a 4 de julho de 2018.

Tabela 6.8 | Resultados da amostra pontual de água residual à entrada da ETARI e das amostras compostas efetuadas entre maio e julho de 2018.

	pH (Esc. Sorensen)	Cond. (μS/cm a 20°C)	Óleos e gorduras mg/L	CQO mg/L	SST mg/L	SDT mg/L	CBO⁵ mg/L	CQO/CBO₅	P mg/L	N mg/L	CBO₅/N/P
13/abril (Pontual)	6,5	1000	2,49	550	310	858	330	1,7	2,1	14,2	100:4,3:0,6
29/maio	8,9	-	-	930	510	-	200	4,7	2,5	11,6	100:5,8:1,3
06/junho	6,2	-	-	560	120	-	320	1,8	4,0	10,6	100:3,3:1,3
13/junho	6,7	-	-	870	210	-	240	3,6	2,4	3,1	100:1,3:1,0
19/junho	6,1	-	-	680	390	-	-	-	-	-	100:3,0:1,2
27/junho	7,9	-	-	160	88	-	100	1,6	1,2	3,0	100:3,3:1,4
04/julho	6,7	-	-	630	220	-	240	2,6	3,3	8,0	100:3,5:1,1

Da análise destes valores (que se admite poderem ser representativos da qualidade média do efluente, excluindo os valores relativos ao dia 27 de junho, que se podem considerar como outliers) importa referir o seguinte:

- Não está disponível informação relativamente ao parâmetro cor;
- Tendencialmente, o efluente é ligeiramente ácido (pH<7);

- A condutividade é da mesma ordem de grandeza dos valores que caracterizam os efluentes urbanos ($1000 \mu\text{S}/\text{cm}$). No entanto, o único valor disponível poderá não ser representativo da qualidade média do efluente;
- A concentração de óleos e gorduras é marginal, mas, como referido anteriormente, o único valor disponível poderá não ser representativo da qualidade média do efluente;
- Os valores de CQO são da ordem de grandeza dos valores que caracterizam efluentes urbanos média a fortemente carregados (faixa de valores entre 500 e $1000 \text{ mg}/\text{L}$);
- Os valores de SST são da mesma ordem de grandeza dos valores que caracterizam os efluentes urbanos mediantemente carregados (valores entre 250 e $350 \text{ mg}/\text{L}$);
- O valor de SDT é conforme o valor de condutividade;
- Os valores da CBO_5 são da mesma ordem de grandeza de um efluente urbano mediantemente carregado (faixa de concentrações entre 250 e $300 \text{ mg}/\text{L}$);
- A relação CQO/CBO_5 varia entre 1,7 e 4,7 o que parece indicar que o efluente é dificilmente biodegradável ou que, sendo biodegradável, exigirá processos biológicos que garantam adaptação da biomassa celular, isto é, processos com uma idade de lamas suficientemente elevada (processos de biomassa em suspensão em regime de baixa carga ou processo mistos, biomassa em suspensão em que parte do volume do reator é ocupado com meio de enchimento);
- As concentrações de N e de P são claramente inferiores às que estão normalmente associadas à composição dos efluentes urbanos. Por outro lado, com base numa relação empírica de 100:5:1 para a razão $\text{CBO}_5:\text{N}:\text{P}$, que caracteriza as necessidades de nutrientes associadas aos processos biológicos, o azoto presente no efluente bruto poderá não ser suficiente para garantir a prossecução dos processos biológicos. No que se refere ao fósforo, apesar das concentrações serem, genericamente, ligeiramente superiores às necessidades estequiométricas, poderá igualmente ocorrer alguma limitação, nomeadamente porque o tratamento primário por flotação poderá contribuir para alterar as características do efluente bruto;
- Por forma a acautelar algum défice de nutrientes (azoto e fósforo) que possam limitar o desempenho dos processos biológicos, a possibilidade de seu doseamento deverá estar assegurada;

6.4.2 Linha de tratamento da ETARI

A linha de tratamento da ETARI da NTR é constituída por três etapas: pré-tratamento, tratamento primário e tratamento biológico. As operações e processos da fase líquida de tratamento presente na NTR encontram-se resumidas na tabela seguinte, e no Anexo III encontram-se fotografias da ETARI.

Tabela 6.9 | Linha de tratamento da fase líquida da NTR

<i>Etapas de Tratamento</i>	<i>Operações e processos</i>
<i>Preliminar</i>	Gradagem
	Tamisador automático de finos
	2 tanques de equalização
<i>Tratamento primário</i>	Tubo floculador
	Flotador por ar dissolvido primário
	<i>Moving Bed Biofilm Reactor (3 tanques em série)</i>
<i>Tratamento secundário</i>	2 flotadores por ar dissolvido

O MBBR é constituído por 3 tanques de arejamento em série, sendo o primeiro maior que os restantes dois (que são iguais entre si).

A fase sólida inclui a desidratação mecânica das lamas através do recurso a duas centrífugas.

Na ETARI são consumidos quatro reagentes distintos: AMBIFLOC, ácido fosfórico e ureia, cuja função e respetivos pontos de aplicação se resumem na tabela seguinte.

Tabela 6.10 | Reagentes, funções e pontos de aplicação na ETARI.

<i>Ponto de aplicação</i>	<i>Função</i>	<i>Reagente</i>
<i>Tubo floculador</i>	Coagulante	AMBIFLOC Bio 62
	Floculante	AMBIFLOC em1644
<i>Entrada do MBBR</i>	Nutrientes	Ácido Fosfórico
		Ureia
<i>DAF secundários</i>	Coagulante	AMBIFLOC
	Floculante	AMBIFLOC PP 200 EM

O doseamento de nutrientes é efetuado à entrada do MBBR, sendo realizado de 12 em 12 horas, não tendo sido disponibilizada informação relativa ao doseamento de coagulante e de floculante no tubo floculador e de coagulante na DAF secundária. Por outro lado, não é adicionado polímero na desidratação, obtendo-se lamas com um teor de matéria seca que varia entre 19 a 32%.

6.4.3 Qualidade do efluente tratado

Na tabela seguinte, resume-se a informação relativa a amostras pontuais realizadas entre os dias 24 e 28 de setembro de 2018, ao efluente bruto, primário, saída do reator biológico e efluente tratado.

Tabela 6.11 | Resultados de amostras pontuais realizadas entre 24 e 28 de setembro de 2018 (EB – Efluente Bruto; EP – Efluente Primário; RB – Reator Biológico; ET – Efluente tratado).

Parâmetro	Unidade	Data	EB	EP	Saída RB	ET
pH	Esc.Sor	24/09/2018	6,8	-	8,0	8,0
		25/09/2018	6,5	-	7,8	7,8
		26/09/2018	6,4	-	7,7	7,8
		27/09/2018	6,1	6,2	7,6	7,7
		28/09/2018	6,5	6,4	7,8	7,7
Condutividade	µS/cm	24/09/2018	-	-	-	-
		25/09/2018	1872	-	-	1929
		26/09/2018	-	-	-	-
		27/09/2018	1521	-	-	1724
		28/09/2018	-	-	-	-
CQO	mg O ₂ /L	24/09/2018	636	-	134	98
		25/09/2018	537	-	188	120
		26/09/2018	521	-	196	117
		27/09/2018	525	399	121	94
		28/09/2018	480	381	154	99
Pt	mg P/L	24/09/2018	3,01	-	0,84	0,69
		25/09/2018	3,03	-	1,03	0,72
		26/09/2018	3,64	-	1,47	1,32
		27/09/2018	3,56	1,98	1,42	1,22
		28/09/2018	3,58	1,98	1,20	0,89
Nt	mg N/L	24/09/2018	1,1	-	<0,5	<0,5
		25/09/2018	-	-	-	-
		26/09/2018	-	-	-	-
		27/09/2018	1,3	-	-	<0,5
		28/09/2018	-	-	-	<0,5

Da análise da tabela anterior, importa referir o seguinte:

- Os valores de pH são inferiores a 7 (características ácidas). No entanto, o tratamento biológico é responsável por um aumento de pH;
- Os valores de Condutividade são claramente superiores aos resultados anteriores (cf. Tabela 6.8). O tratamento biológico não reduz aqueles valores;
- Os valores da CQO estão de acordo com os resultados anteriores (cf. Tabela 6.8), bem com as eficiências de remoção do tratamento primário (flotação) e do tratamento biológico (MBBR);

- A presença de fósforo no efluente bruto é superior aos resultados anteriores, sendo de realçar a remoção que ocorre no tratamento primário (cerca de 45%). Por outro lado, a remoção no tratamento biológico, face às necessidades estequiométricas associadas à remoção de CQO (1:150/200), parece ser inferior ao que seria expectável. No entanto não foi disponibilizada informação relativa à ocorrência, ou não, de doseamento de ácido fosfórico, o que limita a interpretação dos resultados;
- A presença de azoto no efluente bruto é claramente inferior aos resultados anteriores, sendo igualmente inferior às necessidades estequiométricas, o que parece justificar o seu doseamento. Não foi igualmente disponibilizada informação relativa ao doseamento, ou não, de ureia, o que limita a interpretação dos resultados.

De modo a avaliar a qualidade do efluente tratado foram utilizados dados dos primeiros seis meses de 2018. Os parâmetros pH, CQO e SST foram amostrados diariamente, enquanto que o Azoto total e o Fósforo total foram amostrados semanalmente.

Os gráficos das figuras presentes no Anexo III resumem a informação disponibilizada para cada um daqueles parâmetros (concentração e carga diária, carga específica), tendo sido incluídos os respetivos VLE a aplicar a partir de julho de 2019. Relativamente ao parâmetro CBO₅, e porque os valores disponibilizados foram sempre iguais (<20 mg/L), entendeu-se não se justificar a elaboração da respetiva figura.

Na tabela seguinte resume-se a evolução da qualidade da água ao longo do processo produtivo e do tratamento associada a amostragens realizadas no dia 6 de dezembro de 2017.

Tabela 6.12 | Análise das águas de processo e efluentes – Amostragem 06-12-2017 (AF – Água Fresca; AB – Água branca; AC – Água Clarificada; AC e F – Água clarificada e filtrada; EP – Efluente Primário; ET – Efluente tratado)

Parâmetros	Unidades	AF	AB	AC	AC e F	EP	ET
------------	----------	----	----	----	--------	----	----

Valorização do Efluente Tratado da Indústria Papeleira em Usos Compatíveis

<i>pH a 20°C</i>	Esc.Sor	7,3	7,9	7,8	7,9	6,5	7,7
<i>Alcalinidade</i>	mg CaCO ₃ /L	45,2	67,7	56,7	53,1	46,8	62,3
<i>Alumínio</i>	mg Al/L	0,33	-	4	-	0,44	0,3
<i>Azoto Total</i>	mg N/L	3,4	-	25	-	8,2	7,3
<i>Cálcio</i>	mg Ca/L	34,7	-	34,5	-	38,1	35,1
<i>Cloretos</i>	mg Cl/L	65,3	-	128	-	135	150
<i>Condutividade a 20°C</i>	µS/cm	476	1160	1180	1170	982	1070
<i>CQO solúvel</i>	mg O ₂ /L	< 15 Lq	397	371	402	123	59
<i>CQO total</i>	mg O ₂ /L	< 15 Lq	1280	766	729	221	73
<i>Dureza</i>	mg CaCO ₃ /L	140	-	128	-	139	130
<i>Ferro Total</i>	mg Fe/L	0,074	-	0,39	-	0,13	0,12
<i>Fósforo</i>	mg P/L	0,21	-	1,7	-	1,1	0,57
<i>Magnésio</i>	mg Mg/L	12,8	-	10	-	10,7	10,3
<i>Potássio</i>	mg K/L	4,7	-	8	-	7,3	4,5
<i>Sódio</i>	mg Na/L	47,2	-	235	-	189	208
<i>Sólidos Fixos a 550°C</i>	mg/L	266	800	796	766	616	679
<i>SST</i>	mg/L	< 10 Lq	692	222	202	18,2	10,5
<i>Sólidos Totais a 103-105</i>	mg/L	352	1789	1356	1296	796	772
<i>Sólidos Voláteis a 550 °C</i>	mg/L	85	989	560	530	180	93
<i>Sulfatos</i>	mg SO ₄ /L	85	-	278	-	188	219
<i>Turbidez</i>	NTU	0,92	-	172	-	6	4,2

Da análise da tabela anterior, importa referir o seguinte:

- As características da água fresca estão de acordo com os valores que constam da Tabela 3.3 anterior, não comprometendo a sua utilização nos diferentes usos, nomeadamente no que se refere ao mais exigente. A condutividade, dureza e alcalinidade (respetivamente 476 $\mu\text{S/cm}$, 140 mgCaCO_3/L e 45,2 mgCaCO_3/L) são inferiores aos valores máximos recomendados (500 $\mu\text{S/cm}$, 200 $\text{mg CaCO}_3/\text{L}$ e 100 $\text{mg CaCO}_3/\text{L}$). A água mantém as suas características de agressividade e de corrosividade (Índice de Saturação de -1.01, Índice de Estabilidade de Ryznar de 9.32 e Índice de Larson de 4) e apresenta valores de Sólidos Fixos e de Cloretos ligeiramente superiores aos valores máximos recomendados;
 - A água branca (água fresca após utilização no processo) é caracterizada por um valor de condutividade cerca de 2,5 superior ao da água fresca, e concentrações de CQO (solúvel e total) e de sólidos, claramente superiores aos da água fresca (a CQO total é 85 vezes superior, o acréscimo de sólidos totais é da ordem dos 500 % e o acréscimo de SST é de cerca de 70 vezes). Os valores de Cloretos, Sódio e Sulfatos não estão disponíveis. Por outro lado, regista-se um ligeiro acréscimo do pH e da Alcalinidade;
 - A operação de flotação permite a redução da CQO total em cerca de 40 %, e uma redução dos SST e dos sólidos totais de cerca de 68 % e 25 %, respetivamente. No que se refere aos restantes parâmetros, nomeadamente à Condutividade e CQO solúvel não há redução ou é marginal. De referir o acréscimo significativo das concentrações de Sódio, Sulfatos e Cloretos, o que aumenta significativamente a corrosividade da água;
 - A operação de filtração não introduz qualquer alteração nas características da água clarificada (proveniente de uma operação de flotação), o que, no que se refere aos SST, não seria expectável;
 - A água clarificada e filtrada é reutilizada (cf. Tabela 6.5);
 - Globalmente, verifica-se um aumento de sais dissolvidos (condutividade, cloretos, sulfatos, sódio) potencialmente provenientes da pasta e da adição de químicos ao longo do processo;
- As eficiências de remoção associadas ao tratamento primário e secundário encontram-se resumidas na tabela seguinte.

Tabela 6.13 | | Eficiências de remoção associadas ao tratamento da AR

	Tratamento Primário	Tratamento secundário
CQO Total	70%	67%
CQO Solúvel	70%	52%
SST	92%	42%
Sólidos totais	39%	-
Alumínio	90%	-
Nt	67%	11%
Pt	35%	48%

Relativamente aos restantes parâmetros as eficiências de remoção são marginais;

- Globalmente o efluente tratado é caracterizado pela presença de sólidos dissolvidos, condutividade, cloretos, sódio e sulfatos, sendo agressivo e corrosivo (Índice de Saturação de -0,49, Índice de Estabilidade de Ryznar de 8,68 e Índice de Larson de 7,1).

6.4.4 Afinação da qualidade do efluente tratado

O tratamento complementar do efluente tratado na ETARI, por forma a poder ser reutilizado nas máquinas de papel (remoção de SDT e de Condutividade) e, de uma forma mais abrangente, na rega, inclui o recurso a um tratamento por membranas.

Os principais aspetos associados a este tipo de solução, incluem:

- A linha de tratamento será constituída por uma filtração de desbaste, módulo de ultrafiltração e módulo de osmose inversa;
- A remoção expectável de SDT associado a esta linha de tratamento é de 95%/98%, sendo admissível a obtenção de cerca de 70% de permeado e de 30% de concentrado;
- A devolução do permeado ao rio Tejo poderá ser questionada pela entidade licenciadora (APA);
- Admite-se que o processo possa ser muito beneficiado (longevidade das membranas) se for precedido de uma operação de ozonização;
- A implementação de uma solução de afinação à escala industrial exige a obtenção de resultados/informação prévia através do funcionamento de uma instalação piloto, que deverá ser operacionalizada para trabalhar com um caudal de 1 a 2 m³/h durante uma janela temporal de 3 a 6 meses;
- É fundamental aferir a repercussão que a operação de ozonização possa ter, nomeadamente a concentração a dosear, bem como o tipo de membrana a utilizar;
- Os custos associados a este tipo de solução são elevados (equipamento e energia);
- Os indicadores apurados através de consultas ao mercado¹⁰, incluem:
 - Potência instalada – 1,8 a 2 kW/m³ de efluente tratado;
 - Os custos da instalação para um caudal de 50m³/h poderão atingir os 500 000€.

¹⁰ Os dados acima referidos foram obtidos através de uma conversa informal com um fornecedor (que se considerou adequado permanecer anónimo) deste tipo de tratamento.

6.5 Análise crítica da ETARI

Da análise da informação relativa ao funcionamento da ETARI, efetuada no capítulo anterior, importa relevar os seguintes aspetos:

- O processo biológico (MBBR) é robusto, capaz de garantir uma qualidade média do efluente relativamente constante ao longo do tempo, no que se refere aos parâmetros SST e à CQO, independentemente das variações quantitativas e qualitativas que sempre podem ocorrer no efluente bruto;
- A natureza do processo (biomassa em suspensão/biomassa fixa) limita a ocorrência de fenómenos de bulking, que poderia contribuir para limitar a qualidade do efluente tratado em termos de SST e, consequentemente, CQO, azoto e fósforo. Por outro lado, a recirculação interna, com o objetivo de manter uma concentração elevada e constante de biomassa nos reatores biológicos não se justifica, o que contribui para facilitar o controlo e a operação do processo;
- Na tabela seguinte resumem-se os incumprimentos relativos aos parâmetros CQO, SST, Nt e Pt, durante os primeiros seis meses de 2018 (cf. Anexo III);

Tabela 6.14 | Incumprimentos relativos aos parâmetros CQO, SST, Nt e Pt durante os primeiros seis meses de 2018.

Parâmetro	LURH atual			LURH futura		
	mg/L	kg/d	kg/t	mg/L	kg/d	kg/t
CQO	0	0	3	0	0	7
SST	0	0	1	9	6	3
Pt	2	1	1	8	3	3
Nt	6	1	5	7	5	6

- A exigência dos limites de descarga associados à nova LURH poderá obrigar à inclusão de uma operação de filtração a jusante do tratamento biológico, por forma a reduzir a presença de matéria em suspensão e, também, da CQO, azoto e fósforo que lhe está associada;
- A informação qualitativa relativa ao efluente bruto e ao efluente primário é escassa. No entanto, é perceptível a sua variabilidade no que respeita às concentrações de azoto e de fósforo, o que poderá determinar, ou não, a necessidade de se dosear ureia e, ou ácido fosfórico, com o objetivo de garantir a prossecução dos processos biológicos;
- É igualmente escassa a informação relativa ao doseamento daqueles reagentes, nomeadamente no que se refere às suas necessidades reais e às quantidades doseadas;
- Quando a concentração daqueles nutrientes no efluente primário é superior às necessidades do processo biológico, a sua presença no efluente tratado poderá limitar o cumprimento dos limites de descarga, nomeadamente quando da entrada em vigor da nova LURH;
- Deste modo, por forma a poder controlar situações de excesso de nutrientes, a ETARI deverá poder garantir a sua remoção, nomeadamente através da inclusão de uma operação de filtração a jusante da flotação secundária (referida anteriormente), precipitação do fósforo em

excesso e inclusão de um reator anóxico a montante dos reatores aeróbios e da respetiva recirculação de nitrato;

- Face às características do efluente e à exigência dos limites de descarga, admite-se que a operação da ETARJ seja exigente, obrigando a um controlo analítico rigoroso por forma a poder estabelecer, ao longo do tempo, qual a melhor estratégia conducente ao cumprimento dos objetivos de qualidade (avaliação de necessidade de dosear um ou os dois nutrientes ou, pelo contrário, remover o, ou os nutrientes em excesso);
- No que se refere à remoção do fósforo, admite-se que a melhor estratégia inclua a sua precipitação, associada ao doseamento de Cloreto Férrico a montante da operação de filtração (a incluir), e não no reator biológico, como é prática corrente, por forma a limitar conflitualidade com as necessidades de fósforo associadas ao processo biológico;
- O tratamento primário (coagulação, floculação e decantação) é responsável por remoções de significativas de SST e de CQO e, também, de algum fósforo e de algum azoto. Admite-se que deveria ser avaliada, por exemplo através de ensaios conduzidos em laboratório, a repercussão de se efetuar um by-pass (parcial ou total) aquela operação, por forma a determinar em que medida é que a presença de mais CQO no reator biológico permitiria um melhor controlo do P no efluente tratado;
- A informação relativa ao parâmetro cor é escassa. Admite-se, no entanto, que o cumprimento dos limites de descarga não levanta problemas;
- A informação relativa aos parâmetros Cloretos, Condutividade, SDT, Sódio, Cálcio e Magnésio, é igualmente muito reduzida;
- A informação relativa aos parâmetros microbiológicos é nula.

7. Navigator Pulp Setúbal, SA.

7.1 Informação genérica

O complexo industrial de Setúbal (CIS) é constituído por três fábricas diferentes: uma designada para a produção de pasta, e duas fábricas para produção de papel de impressão e escrita não revestido (UWF – consultar capítulo 2.3.2).

A unidade mais antiga é a Fábrica de Pasta, tendo iniciado a sua atividade em 1964 (Socel), seguindo-se a Fábrica de Papel 1 (FP1) em 1969 (Papéis Inapa), e da Fábrica de Papel 2 (ATF), em 2009.

A fábrica de pasta do CIS produz anualmente 575 000 toneladas de pasta de eucalipto ao sulfato (kraft), com branqueamento ECF. A pasta produzida é totalmente integrada no fabrico de papel de impressão e escrita não revestido. A maior parte do papel produzido é transformado internamente em folhas para a indústria gráfica (grandes formatos) e em folhas para escritório (A4 e A3). O papel produzido nas FP1 e ATF dá origem a 7 000 diferentes “*product itens*” como resultado da combinação de diferentes tipos de papel, gramagens, formatos, brancura, destinos, etc. O complexo industrial perfaz um volume anual de produção e transformação de papéis finos não revestidos de 1 324 663 toneladas.

A área do complexo é de 191,6 ha, e o seu funcionamento é auxiliado por 1 136 colaboradores de diferentes níveis de habilitações académicas e formações especializadas (dados do Relatório de Sustentabilidade de 2016/2017). O regime de laboração do CIS é 24/24 horas, 7 dias da semana, sendo constituído por três turnos diários. A manutenção dos equipamentos, necessidade de substituição de peças e equipamentos são os fatores que determinam os períodos de paragens anuais das fábricas.

7.2 Consumo de água na NPS

7.2.1 Características quantitativas

A água fresca utilizada pela NPS é de origem subterrânea, sendo captada em 23 furos diferentes. Na tabela seguinte resumem-se os valores mensais de produção de pasta e papel e do consumo de água fresca durante o ano de 2017.

Tabela 7.1 | Produção e consumos associados à NPS – Ano de 2017.

	Produção			Água fresca		
	F. Pasta t	FP1 t	ATF t	F. Pasta m³	FP1 m³/t	ATF m³/t
Janeiro	47 832	23 451	51 282	1 463 640	508 271	287 206
Fevereiro	41 083	20 780	48 639	1 337 672	449 023	226 905
Março	48 849	23 033	53 111	1 456 861	479 743	267 234
Abril	47 574	20 772	50 554	1 478 578	484 835	246 079
Maio	43 790	22 132	47 320	1 546 613	473 859	246 578
Junho	47 618	21 684	46 416	1 647 629	501 290	174 030
Julho	45 266	23 084	50 542	1 527 966	463 729	297 603
Agosto	46 482	23 291	52 433	1 454 939	532 529	342 414
Setembro	39 919	23 184	53 124	1 343 049	505 921	332 117
Outubro	44 253	19 996	52 193	1 370 941	528 540	326 786
Novembro	42 862	21 587	49 593	1 398 811	520 933	275 489
Dezembro	46 570	24 571	54 681	1 324 947	577 861	296 497
Total	542 098	267 565	609 887	17 351 646	6 026 534	3 318 938

Não existem dados sobre a quantidade de água fresca associada a cada processo (lavagem da pasta crua, branqueamento, lavagens de alta e baixa pressão, refrigeração, preparação da pasta, preparação de químicos, etc.), deste modo, e de acordo com as tabelas Tabela 3.1 e Tabela 3.2, nas tabelas seguintes resumem-se os consumos estimados de água fresca para as diferentes fases de produção de pasta e papel da NPS.

Tabela 7.2 | Consumo de água fresca distribuído por cada fase da produção de pasta, em m³/dia.

Fase de produção	AF Fábrica da Pasta m³/dia	Percentagem %
Total	47 539	100,0%
Lavagem da pasta crua	12 740	26,8%
Crivagem da pasta crua	1 331	2,8%
Clarificador licor verde/licor branco	5 229	11,0%
Branqueamento	28 238	59,4%

Tabela 7.3 | Consumo de água fresca distribuído por cada fase de produção de papel, em m³/t.

Fase de produção	AF FP1 m³/t	AF ATF m³/t	Percentagem %
<i>Total</i>	18,0	9,8	100%
<i>Preparação de aditivos</i>	2,5	1,4	14%
<i>Selagem de bombas</i>	3,8	2,1	21%
<i>Refrigeração</i>	2,2	1,2	12%
<i>Máquina de papel - Lavagens</i>	9,4	5,1	52%

7.2.2 Características qualitativas

A informação gerada anteriormente (cf. capítulo 6.2.2 - Tabela 6.2 e Anexo I – Figura I.1), a propósito das características limite associadas à qualidade água a utilizar na produção de papel, são igualmente válidas no que se refere à produção de pasta, relativamente à qual os valores de alcalinidade e de dureza são ainda mais exigentes.

A água captada é processada numa unidade de remoção de areias (dois filtros de cesto rotativo) e é alimentada diretamente à desmineralização e à rede de água potável e, indiretamente, através do seu armazenamento numa cisterna, a toda a restante fábrica. A desmineralização, constituída por duas linhas, produz a água desmineralizada para o SVP-Lite e para a compensação da água de alimentação das caldeiras. O sistema de produção de água potável compreende um sistema de dosagem em contínuo com hipoclorito de sódio (Navigator Pulp Setúbal S.A., 2018). A qualidade da água fresca, face a dados médios de 2017, encontra-se representada na tabela seguinte.

Tabela 7.4 | Qualidade da água fresca consumida pela NPS (ano de 2017).

Parâmetros	Unidades	Média
<i>Alcalinidade</i>	mg CaCO ₃ /L	100
<i>Cloretos</i>	mg Cl/l	46,9
<i>Condutividade a 20°C</i>	µS/cm	473
<i>Dureza total</i>	mg CaCO ₃ /L	124,4
<i>pH</i>	Esc. Sorensen	7,9

A análise dos valores vertidos na tabela anteriores permite verificar que a qualidade média da água fresca é compatível com as exigências de qualidade da generalidade dos usos (cf. Tabela 3.3) com exceção das caldeiras.

As características da água fresca em termos do equilíbrio calco-carbónico foram igualmente avaliadas através do recurso ao programa EQUILWIN®, tendo-se utilizado como dados de base os seguintes valores:

- Temperatura – 20°C (valor médio admitido);
- pH – 7,9 (valor médio);

- Alcalinidade – 100 mgCaCO₃/L (valor médio);
- Ca²⁺ - 125 mgCaCO₃/L (valor médio, tendo-se admitido que a dureza cálcica é igual à dureza total);
- Condutividade – 473 µS/cm (valor médio).

Na tabela e na figura seguintes resumem-se os resultados obtidos e, também, a respetiva representação gráfica da qualidade da água.

Tabela 7.5 | Resumo dos resultados obtidos através do recurso ao programa EQUIWIN® sobre as características da água fresca.

Parâmetros	Unidades	Valor/Comentário
<i>Temperatura</i>	°C	20
<i>pH</i>	Esc. Sorensen	7,9
<i>TAC</i>	°F	10
<i>Cálcio</i>	°F	31,3
<i>Resíduo seco</i>	mg/L	339
<i>pH saturação</i>	Esc. Sorensen	7,41
<i>CO₂ livre</i>	mg/L	2,29
<i>Índice de saturação</i>	-	0,49
<i>Natureza da água</i>	-	Ligeiramente incrustante
<i>CO₂ agressivo</i>	mg/L	0
<i>Potencial de precipitação de CaCO₃</i>	mg/L	8,21
<i>Índice de estabilidade (Ryznar)</i>	-	6,92
<i>Tendência de acordo com o índice de Ryznar</i>	-	Corrosão ligeira

Da análise dos resultados obtidos, importa realçar que análise foi efetuada com base em valores médios, e que a dureza cálcica considerada poderá ser um valor muito conservativo. No entanto é razoável admitir que a água captada é uma água equilibrada, no que se refere ao equilíbrio calco-carbónico.

7.3 Licença Ambiental

A Licença Ambiental (LA) n.º 11/2005 foi emitida ao abrigo do Decreto-Lei n.º 194/2000, de 21 de agosto, relativo à Prevenção e Controlo Integrados da Poluição (Diploma PCIP), para a instalação Complexo Industrial de Setúbal da Portucel relativa à atividade de Fabricação de Pasta (CAE 21110) e à atividade de Fabricação de Papel e de Cartão (exceto cartão canelado) (CAE 21120).

Define, entre outros, os limites de produção, consumo de água fresca e os objetivos quantitativos a qualitativos associados ao efluente tratado da NPS, que se resumem nas tabelas seguintes.

A capacidade instalada de produção licenciada, é de 520.000 tSA/ano de pasta produzida pelo processo *Kraft* (ECF). A capacidade instalada de produção licenciada da FP1 é de 300.000 t/ano e a capacidade instalada licenciada para a Nova Fábrica de Papel (ATF) é de 547.000 t/ano, de produção de papel de escrita e impressão não revestidos.

A LA define o consumo máximo de água fresca a partir de furos associado à atividade industrial do CIS em m³/mês, perfazendo um volume anual de aproximadamente 40 000 000 m³ de água fresca.

O caudal e a carga máxima anual autorizada para descarga após tratamento na ETAR1 resultam da aplicação da equação 4.1.

$$VLE\ Pasta \times Produção\ Pasta + VLE\ Papel \times Produção\ Papel \quad Eq. 7.1$$

O autocontrolo das águas tratadas nas ETAR da instalação, e encaminhadas para o Estuário do Sado, deve ser realizado como especificado na tabela seguinte.

Tabela 7.6 | Limites de emissão (VLE) impostos às ETAR do CIS

Parâmetro	Controlo	Unidades	ETAR 1		ETAR 2
			Pasta	Papel (ATF)	FP 1
Caudal	Contínuo	m ³ /t	35,00	10,40	21,00
pH	Diário	Esc. Sorensen	6 - 9		6 - 9
SST	Diário	kg/t	1,50	0,40	0,80
CQO	Diário	kg/t	20,00	1,60	2,00
CBO ₅	Semanal	kg/t	1,40	0,25	0,25
AOX	Mensal	kg/t	0,2000	0,0025	0,009
N	Mensal	kg/t	0,15	0,05	0,18
P	Mensal	kg/t	0,150	0,008	0,06

Relativamente aos efluentes da ETAR1, nenhum parâmetro de emissão para a água, em valor médio anual (ano civil), pode exceder as cargas definidas de acordo com os VLE acima mencionados. Diariamente nenhum parâmetro de emissão poderá ultrapassar o dobro do valor da carga máxima autorizada.

7.4 ETAR 1

7.4.1 Caracterização dos afluentes

Os efluentes que são tratados na ETAR1 têm proveniências distintas e incluem: O efluente alcalino da Fábrica de Pasta, que passa pela obra de entrada (gradagem e desarenação); o efluente final da ATF que se mistura com o anterior a montante do decantador primário; e o efluente ácido da Fábrica de Pasta que se mistura com os anteriores na fase de neutralização e adição de nutrientes (ureia) a montante do reator biológico.

A caracterização quantitativa e qualitativa dos efluentes combinados relativa ao ano de 2017, resume-se na tabela seguinte.

Tabela 7.7 | Afluentes à ETAR1 (Fábrica da Pasta + ATF)

	SST			CQO			CBO5			AOX			N			P		
	kg	mg/l		kg	mg/l		kg	mg/l		kg	mg/l		kg	mg/l		kg	mg/l	
Janeiro	623 489	475		1 780 716	1356		323 300	246		30 051	23		6 386	5		8 164	6	
Fevereiro	411 313	359		1 528 039	1333		305 838	267		66 031	58		5 644	5		6 797	6	
Março	515 706	399		1 875 216	1449		289 664	224		30 942	24		12 288	9		10 711	8	
Abril	625 895	481		2 146 658	1650		339 696	261		33 122	25		8 453	6		12 475	10	
Maior	653 050	466		1 852 879	1323		340 829	243		70 464	50		7 692	5		11 094	8	
Junho	459 905	345		1 983 794	1490		254 968	192		35 167	26		7 364	6		3 846	3	
Julho	574 109	420		1 920 642	1407		252 259	185		21 905	16		7 630	6		8 916	7	
Agosto	481 853	362		2 155 292	1620		279 128	210		30 239	23		6 820	5		8 760	7	
Setembro	389 927	320		1 599 807	1315		260 276	214		34 807	29		6 007	5		8 440	7	
Outubro	520 361	390		1 914 667	1436		341 642	256		43 571	33		6 431	5		9 544	7	
Novembro	415 800	332		1 891 570	1511		355 895	284		40 474	32		6 459	5		9 541	8	
Dezembro	373 398	290		1 769 651	1377		249 740	194		35 897	28		5 186	4		8 509	7	
Acumulado	6 044 806	-		22 418 931	-		3 593 234	-		472 668	-		86 359	-		106 797	-	
Média	503 734	387		1 868 244	1 439		299 436	231		39 389	31		7 197	6		8 900	7	

Foram igualmente disponibilizados os resultados das análises realizadas em 2018, mas devido à falta de informação relativa aos caudais e produção de pasta e papel não foi possível estimar a carga dos efluentes à entrada e à saída da ETAR1.

Deste modo, na tabela seguinte resumem-se os resultados dos parâmetros presentes nas análises laboratoriais de amostras retiradas do efluente misto nas torres de refrigeração da ETAR1 realizadas em 2018 (Cor, condutividade e sódio).

Tabela 7.8 | Efluente misto da ETAR1 - análises de 2018

	Cor U.H.	Condutividade uS/cm	Sódio mg SS/L
<i>Janeiro</i>	1 027	3380	2 418
<i>Fevereiro</i>	925	3420	2 329
<i>Março</i>	785	3470	2 348
<i>Abril</i>	1 074	4060	2 977
<i>Maio</i>	977	3780	2 677
<i>Junho</i>	906	3950	2 703
<i>Julho</i>	887	4170	2 871
<i>Agosto</i>	986	4030	2 656
<i>Setembro</i>	1 001	3960	2 660
<i>Outubro</i>	779	3720	2 471
<i>Novembro</i>	904	3840	2 747
<i>Dezembro</i>	901	3860	2 732
<i>Média Anual</i>	929	3800	2 632

Da análise da informação disponível relativa à qualidade do afluente à ETAR 1, importa salientar os seguintes aspetos:

- A concentração de matéria em suspensão pode-se considerar como sendo relativamente reduzido, nomeadamente se comparada com as concentrações comumente associadas e afluentes urbanos;
- A relação CBO₅/CQO é, em termos médios, de 0.16, o que poderá indiciar uma biodegradabilidade limitada que exige uma adaptação da biomassa bacteriana;
- A presença de AOX (compostos orgânicos halogenados) decorre dos reagentes utilizados na fábrica de pasta;
- A presença de azoto é marginal, o que indicia a necessidade deste nutriente ser doseado, sob pena de, mesmo na presença de biomassa adaptada, o processo biológico ser fortemente penalizado;
- O fósforo presente no efluente não parece poder pôr em causa a bondade da solução de tratamento;
- O efluente apresenta cor, condutividade e concentração de sódio elevadas.

7.4.2 Linha de tratamento

A linha de tratamento da ETAR1 da NPS é constituída por três etapas: pré-tratamento, tratamento primário e tratamento biológico. As operações e processos de tratamento presentes na ETAR1 encontram-se resumidas na tabela seguinte e identificadas na Figura 7.1.

Tabela 7.9 | Linha de tratamento da fase líquida da ETAR1 da NTR.

<i>Etapas de Tratamento</i>	<i>Operações e processos</i>
<i>Preliminar (efl. pasta alcalino)</i>	Gradagem grossa
	Desarenação
<i>Tratamento primário (efl. pasta alcalino + efl. ATF)</i>	Decantador primário retangular com raspador de fundo
<i>Efluente misto (efl. pasta alcalino + efl. ATF + efl. pasta ácido)</i>	Bacia de neutralização e adição de nutrientes
	Torres de arrefecimento
<i>Tratamento secundário</i>	Reator biológico de lamas ativadas
	2 decantadores secundários circulares com raspador de fundo

A informação alusiva aos consumos de reagentes ao longo do tratamento de efluentes na ETAR1 é escassa, contudo sabe-se que, no que concerne ao doseamento de nutrientes é apenas adicionada ureia a montante do tratamento secundário, uma vez que a presença de fósforo já é suficiente devido ao teor elevado deste nutriente presente no eucalipto.



Figura 7.1 | Vista areal da ETAR 1 e identificação dos órgãos

Os caudais associados ao funcionamento da ETAR1 encontram-se resumidos na tabela seguinte.

Tabela 7.10 | Caudais afluentes à ETAR1

	Unidades	Q. afl alcalino	Q. afl ácido	Q. afl ATF	Q. afl total
<i>Q médio diário anual</i>	m³/d	16 690	13 630	12 380	42 700
<i>Q médio horário anual</i>	m³/h	695	568	516	1 780
<i>Q instantâneo anual</i>	m³/s	0,19	0,16	0,14	0,50
	L/s	193	158	143	500

Da tabela anterior é importante referir que o efluente alcalino perfaz 39% dos efluentes totais da ETAR1, e o efluente ácido e o efluente da ATF contribuem com 32% e 29%, respetivamente.

7.4.3 Qualidade do efluente tratado

Foram disponibilizados os resultados das análises realizadas em 2018, mas devido à falta de informação relativa aos caudais e produção de pasta e papel não foi possível estimar a carga dos efluentes à entrada e à saída da ETAR1.

Deste modo, na tabela seguinte resumem-se os resultados dos parâmetros presentes nas análises laboratoriais de amostras retiradas do efluente misto nas torres de refrigeração da ETAR1 realizadas em 2018 (Cor, condutividade e sódio).

Tabela 7.11 | Efluente tratado final da ETAR1 - análises de 2018

	Cor U.H.	Condutividade mS/m	Sódio mg SS/L
<i>Janeiro</i>	987	369	2 710
<i>Fevereiro</i>	662	352	2 282
<i>Março</i>	579	359	2 368
<i>Abril</i>	787	411	2 793
<i>Maio</i>	885	402	2 761
<i>Junho</i>	699	400	2 647
<i>Julho</i>	754	427	2 865
<i>Agosto</i>	692	398	2 577
<i>Setembro</i>	751	405	2 623
<i>Outubro</i>	608	373	2 402
<i>Novembro</i>	731	406	2 843
<i>Dezembro</i>	755	393	2 716
<i>Média Anual</i>	741	391	2 632

O confronto entre estes valores e os do efluente bruto (Tabela 7.8), mostram que a remoção média de cor é marginal, não sendo, por outro lado, detetada qualquer remoção dos parâmetros condutividade e sódio. Importa referir que estes resultados, associados a um processo de lamas ativadas, são expectáveis.

De modo a avaliar a qualidade do efluente tratado foram utilizados dados do ano de 2017. Os parâmetros CQO, SST e pH foram amostrados diariamente, enquanto que o parâmetro CBO₅ foi amostrado semanalmente, e os Compostos Organoclorados (AOX), o Azoto total e o Fósforo total foram amostrados mensalmente. A análise temporal de cada um dos parâmetros acima encontra-se no Anexo IV, e na tabela seguinte encontram-se os valores de concentração e carga mensais dos mesmos parâmetros, obtidos ao longo do ano de 2017.

Tabela 7.12 | ETAR1. Qualidade do efluente tratado ao longo de 2017

	SST		CQO		CBO ₅		AOX		P		N	
	mg/l	kg	mg/l	kg	mg/l	kg O ₂	mg/l	kg Cl	mg/l	kg	mg/l	kg
Jan	13	17 353	325	427 158	6	7 880	4,2	5 516	3,5	4 596	1,7	2 233
Fev	13	14 603	321	367 457	7	8 026	3,7	4 242	3,3	3 784	1,9	2 179
Mar	14	18 709	344	445 048	6	8 088	4,8	6 212	4,1	5 306	1,9	2 459
Abr	21	27 326	404	524 883	7	8 779	5,2	6 763	4,2	5 463	1,7	2 211
Mai	16	22 487	363	508 651	9	12 607	5,4	7 564	4,7	6 584	2,3	3 222
Jun	14	18 108	448	594 925	7	8 987	7,3	9 719	4,4	5 858	3,4	4 527
Jul	8	10 938	317	432 135	8	10 924	5,1	6 964	4,6	6 336	3,2	4 370
Ago	13	17 380	428	571 369	8	10 640	5,5	7 315	4,1	5 453	2,3	3 059
Set	12	13 842	340	417 339	9	10 950	5,2	6 327	3,7	4 502	2,0	2 433
Out	11	14 471	447	599 269	8	10 003	6,0	8 002	5,5	7 335	2,9	3 868
Nov	11	12 948	467	582 261	9	11 017	6,1	7 637	4,8	5 959	2,1	2 629
Dez	6	7 550	371	477 849	9	11 569	5,7	7 327	5,1	6 556	1,9	2 442
Média/ Acumul.	13	195 715	381	5 948 343	8	119 471	5,4	83 589	4,3	67 732	2,3	35 631
Máx. Autoriz.	---	1 057 108	---	11 817 805	---	911 413	---	109 944	---	86 194	---	111 810

7.4.4 Afinação da qualidade do efluente tratado

O RAIZ, Instituto de Investigação da Floresta e do Papel, é um centro de investigação privado, sem fins lucrativos, que desenvolve as suas atividades visando a produção e transformação de conhecimento em produtos, tecnologia e serviços nos domínios da floresta, pasta, papel e bio refinarias de base florestal, sendo financiado maioritariamente pela The Navigator Company. Este instituto de investigação já conduziu variados estudos no âmbito da afinação do tratamento dos efluentes industriais do CIS, que tiveram como principal objetivo a remoção de cor, que se encontram resumidos na tabela seguinte.

Tabela 7.13 | Operações e processos avançados estudados pelo RAIZ.

	Vantagens	Desvantagens/Dificuldades	Status	Custo
<i>Deslenthificação por O₂</i>	<ul style="list-style-type: none"> Redução significativa no consumo de O₂ Redução da cor causada pelo branqueamento em 70% 	<ul style="list-style-type: none"> Potencial impacto nas propriedades da pasta Aumento de sólidos e perda de 16 000 t de produto/ano 	A ser testado no CIFF ¹¹ – a aguardar resultados	30,2 M€ - exclui construção civil e eletrificação
<i>Coagulação/Floculação</i>	<ul style="list-style-type: none"> Tempo de retenção curto Custo de investimento baixo Potencial de redução da cor em 68% 	<ul style="list-style-type: none"> Formação de lamas Custo de operação (químicos) 	Testes realizados em parceria com a VentilAqua	820 000 € - exclui construção civil, montagem e tubagens
<i>Eletrocoagulação</i>	<ul style="list-style-type: none"> Custos de operação reduzidos¹² Formação de lamas reduzida⁸ 	<ul style="list-style-type: none"> Custos de operação (energia e elétrodos) 	Testes realizados em parceria com a VentilAqua	N/A
<i>Ultrafiltração</i>	<ul style="list-style-type: none"> Não há adição de químicos 	<ul style="list-style-type: none"> Formação de concentrado Custos de manutenção elevados Necessidade de pré-tratamento para remoção de SST 	Testes realizados em parceria com o ISEP	N/A
<i>Ozono</i>	<ul style="list-style-type: none"> Ausência de lamas ou concentrado 	<ul style="list-style-type: none"> Custos de produção de ozono elevados Utilização de um agente oxidante no tratamento do efluente em vez de no processo 	Nenhum teste foi realizado	N/A

A deslenthificação por O₂ é o processo com maiores custos de investimento, uma vez que aquando da sua instalação é necessário modificar o layout da fábrica e o método processual da produção da pasta e acrescentar uma nova fase de lavagem.

Os testes de coagulação/floculação (com cloreto férrico) e eletrocoagulação (com ferro e alumínio) foram realizados no efluente final tendo-se obtido eficiências de remoção de 91% e 93/94%, respetivamente. No entanto, é necessário avaliar onde o ponto de aplicação destes processos será mais eficaz, se a jusante da descarga do efluente ou se na mistura dos efluentes ácido e alcalino (de modo a reduzir a carga no tratamento biológico).

Quanto à aplicabilidade de membranas de ultrafiltração, foram realizados testes com diferentes amostras, tendo sido obtidas eficiências de remoção de cor de 41%. Não existe informação sobre custos ou caudais a aplicar, no entanto, no sentido de estabelecer um guia de custos e operação, e através de consultas ao mercado, foi possível estimar o custo de uma unidade de ultrafiltração + osmose inversa a operar a um caudal de 50m³/h. O investimento inicial é de aproximadamente 500 000€ (com uma potência instalada a rondar os 2kW/m³).

Estudos realizados por Catalkaya & Kargi (2007) demonstram que a ozonização após o tratamento biológico podem remover 80% da cor e 60% de AOX do efluente *kraft* branqueado.

¹¹ Complexo Industrial da Figueira da Foz

¹² Quando comparado à coagulação/floculação convencional

7.5 ETAR 2

7.5.1 Linha de tratamento

A linha de tratamento da ETAR2 da NPS é constituída por três etapas: tratamento preliminar, tratamento primário e tratamento biológico. As operações e processos de tratamento presentes na ETAR2 encontram-se resumidas na tabela seguinte.

Tabela 7.14 | Linha de tratamento da fase líquida da ETAR2 da NTR.

<i>Etapas de Tratamento</i>	<i>Operações e processos</i>
<i>Preliminar (efluente FP1 e PCC)</i>	Tanque de homogeneização Gradagem
<i>Tratamento primário</i>	Decantador primário circular com raspador de fundo
<i>Tratamento secundário (efluente FP1 e PCC + efluente doméstico)</i>	Tanque de alimentação ao SBR (adição de nutrientes) 2 Sequence Batch Reactor

Devido à falta de informação extensiva sobre os afluentes à ETAR2 não foi possível elaborar uma análise à qualidade da água à entrada do sistema de tratamento. No entanto foi possível aferir os caudais associados ao funcionamento da ETAR2 e a variação temporal com os valores de concentração média mensal de CQO e SST (entrada do SBR), que se encontram resumidos na tabela e figura seguintes.

Tabela 7.15 | Caudal afluente à ETAR2

	<i>Unidades</i>	<i>Q. afluente</i>
<i>Q médio diário anual</i>	m ³ /d	13 590
<i>Q médio horário anual</i>	m ³ /h	566
<i>Q instantâneo anual</i>	m ³ /s	0,16
	L/s	157

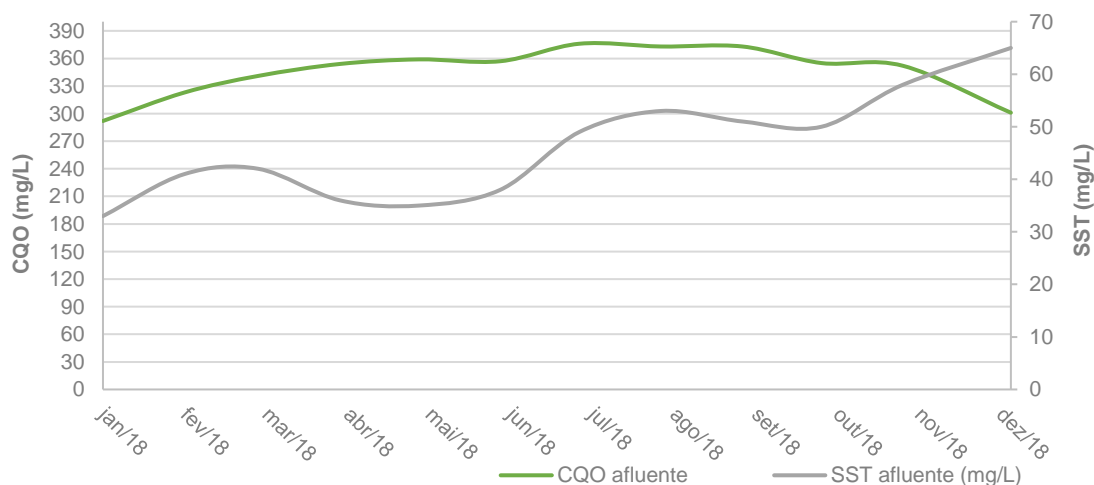


Figura 7.2 | Concentrações médias mensais de CQO e SST à entrada do SBR – dados de 2018

7.5.2 Qualidade do efluente tratado

De modo idêntico ao referido capítulo 7.4, foram disponibilizados os resultados das análises realizadas em 2018, mas devido à falta de informação relativa aos caudais e produção de pasta e papel não foi possível estimar a carga dos efluentes à entrada e à saída da ETAR2. De modo a avaliar a qualidade do efluente tratado da ETAR2 foram utilizados dados do ano de 2017, que se encontram resumidos na Tabela 7.16.

Tabela 7.16 | ETAR2. Qualidade do efluente tratado ao longo de 2017

	CBO₅		SST		CQO		AOX		P		N	
	mg/l	kg/t	mg/l	kg/t	mg/l	kg/t	mg/l	kg/t	mg/l	kg/t	mg/l	kg/t
Jan	5,50	0,09	9,26	0,16	38,26	0,64	0,18	0,003	0,30	0,005	1,00	0,02
Fev	5,00	0,08	8,61	0,14	33,79	0,55	0,17	0,003	0,20	0,003	1,50	0,02
Mar	5,00	0,08	10,68	0,18	40,58	0,69	0,17	0,003	0,20	0,003	1,70	0,03
Abr	5,00	0,10	9,57	0,20	38,53	0,81	0,15	0,003	0,60	0,013	3,50	0,07
Mai	5,00	0,10	7,97	0,16	38,55	0,77	0,17	0,003	0,30	0,006	1,80	0,04
Jun	5,00	0,10	5,83	0,12	39,00	0,78	0,21	0,004	0,20	0,004	2,00	0,04
Jul	5,00	0,09	6,61	0,11	26,71	0,46	0,16	0,003	0,20	0,003	1,70	0,03
Ago	5,00	0,09	5,35	0,10	25,23	0,46	0,19	0,003	0,20	0,004	2,70	0,05
Set	5,00	0,10	5,07	0,10	24,07	0,46	0,13	0,002	0,30	0,006	1,20	0,02
Out	5,00	0,11	5,35	0,12	25,10	0,54	0,28	0,006	0,20	0,004	1,80	0,04
Nov	5,00	0,10	5,65	0,11	30,83	0,59	0,20	0,004	0,20	0,004	1,10	0,02
Dez	5,00	0,08	6,13	0,10	32,35	0,54	0,15	0,002	0,20	0,003	2,00	0,03
Média Ano	5,04	0,09	7,17	0,13	32,75	0,61	0,18	0,003	0,26	0,005	1,83	0,03
VLE	---	0,25	---	0,80	---	2,00	---	0,009	---	0,06	---	0,18

Os parâmetros CQO e SST foram amostrados diariamente, enquanto que o parâmetro CBO₅ foi amostrado semanalmente, e os Compostos Organoclorados (AOX), o Azoto total e o Fósforo total foram amostrados mensalmente. A análise gráfica temporal de cada um dos parâmetros mencionados acima encontra-se no Anexo IV.

7.5.3 Afinação da qualidade do efluente tratado

A ETAR2 do CIS carece de análises extensivas sobre a qualidade da ARIT que produz. A falta de informação sobre parâmetros como a condutividade, SDT, alcalinidade e dureza torna a determinação do melhor tipo de tratamento terciário a aplicar não conclusiva. No entanto, por estar evidenciado ter uma melhor qualidade, quando comparado à ARIT da ETAR1, sugere-se a sua reutilização ou em processos internos da FP1 ou na Fábrica de Pasta (cf. capítulo 8.2).

Por forma ao efluente tratado poder ser valorizado é necessário o recurso a um tratamento avançado, e como na ETAR1 da NTR, recomenda-se o recurso a um tratamento por membranas.

Em outubro de 2018, foi iniciado um ensaio piloto pela *Aquaservice*, a serviço da *The Navigator Company* para recuperação da ARIT, instalada na ETAR2, que funcionou durante quatro meses (unidade de ultrafiltração + osmose inversa). Numa fase mais avançada do ensaio a planta piloto, que operou a caudais variáveis entre 370 e 700 L/h, foi capaz de produzir permeado com taxas de recuperação entre 75% e 79% e uma eficiência de remoção de cloretos que pode chegar aos 97,6% e produzir um efluente equivalente à AF, em termos de condutividade.

7.6 Análise crítica das ETAR1 e ETAR2

Da análise da informação relativa ao funcionamento das ETAR, efetuada nos capítulos anteriores, importa relevar os seguintes aspetos:

- Os processos biológicos de ambas as ETAR1, lamas ativadas, são robustos, isto é, capazes de garantir uma qualidade média do efluente relativamente constante ao longo do tempo, no que se refere à generalidade dos parâmetros (CQO, SST, CBO5 AOX, N e P), independentemente das variações quantitativas e qualitativas que sempre podem ocorrer no efluente bruto;
- Face à natureza do efluente bruto (maioritariamente constituído pelo efluente proveniente da produção de pasta) o controlo do processo da ETAR1 obriga a um esforço adicional (arrefecimento, doseamento de azoto,...);
- O efluente tratado da ETAR1 apresenta valores de cor e de condutividade muito elevados que limitam significativamente a sua eventual valorização em usos compatíveis;
- O efluente tratado na ETAR 2 poderá ser objeto de afinação, com o objeto de poder ser valorizado em usos compatíveis;
- Em qualquer das ETAR1, o número de incumprimentos pode ser considerado como marginal;
- Em qualquer das ETAR1, considera-se necessário um maior controlo na operação e controlo (análises laboratoriais a mais parâmetros - à entrada e saída; pessoal qualificado a controlar ambas as ETAR1 – de modo a evitar colmatações da fase de gradagem, afogamento do decantador, controlo da recirculação e idade de lamas...);
- Em qualquer das ETAR1 não existe informação relativamente às eficiências de remoção dos tratamentos primários e secundários. Contudo, na tabela seguinte estabelecem-se as respetivas eficiências de remoção de cada ETAR para os parâmetros estudados.

Tabela 7.17 | Eficiências de remoção das ETAR1 do CIS

	ETAR1	ETAR2
CQO	74%	90%
CBO ₅	97%	-
AOX	83%	-
SST	97%	84%
Pt	39%	-
Nt	62%	-

8. Potencial de valorização do efluente tratado

8.1 Navigator Tissue Ródão, S.A.

A reutilização de parte ou da totalidade do efluente tratado na ETARI em usos compatíveis, internos ou externos, isto é, na NTR ou em locais próximos, poderá constituir uma alternativa a considerar, contribuindo quer para a redução do consumo de água fresca, quer para a redução da carga poluente rejeitada no meio recetor.

A oferta de água residual tratada é caracterizada pelos seguintes aspetos:

- Produção relativamente constante ao longo do tempo (cerca de 1300 m³/dia, correspondentes a 54 m³/h);
- A água é agressiva e corrosiva com concentrações de cloretos, condutividade e SDT superiores aos valores caracterizam a qualidade da água utilizada nas máquinas de papel e para reutilização na rega e com o valor da RAS próximo do limite recomendado (cf. Tabela 4.2, Tabela 6.11 e Tabela 6.12);
- No contexto da valorização do efluente tratado na rega, as concentrações de azoto e de fósforo são reduzidas;
- O efluente a tratar inclui uma pequena fração de efluente doméstico, pelo que o efluente tratado apresenta poluição microbiológica.

As alternativas de valorização da ARIT podem ser em:

Usos internos

- Utilização nas várias operações associadas à produção de papel (máquina de papel, refrigeração e selagem de bombas);
- Rega de espaços verdes e lavagem de equipamentos no interior da NTR;

A tabela seguinte resume a estimativa dos consumos de água associados a cada fase de produção, com base num consumo médio diário de água fresca de 1300 m³/dia (cf. Tabela 6.1) e nas percentagens que se apresentaram na Tabela 3.2.

Tabela 8.1 | Consumo estimado de água fresca para cada fase de produção em m³/d.

Fase de produção	Caudal AF	
	m ³ /d	%
Total	1300	100
Preparação de aditivos	182	14
Selagem de bombas	130	10
Máquina de papel - Lavagens	676	52
Usos diversos	273	21

As necessidades de água para rega dentro do complexo industrial são marginais, pelo que não foram contabilizadas (como referido anteriormente no capítulo 6.2.1, a água da rede pública utilizada nos edifícios, casas de banho e rega corresponde a cerca de 2% da água fresca comprada à CELTEJO, pelo que a fração correspondente exclusivamente à rega será muito reduzida).

De modo a averiguar se a ARIT é de qualidade suficiente para ser valorizada internamente nas máquinas de papel foi elaborada uma tabela com os dados de qualidade definidos por Blanco et al. (2015).

Tabela 8.2 | Parâmetros que caracterizam a qualidade da água para utilização na máquina de papel vs a qualidade do efluente tratado da ETARI.

Parâmetros	Unidades	Máquina de Papel	ARIT
<i>Alcalinidade</i>	mg CaCO ₃ /L	100	62,3
<i>Alumínio</i>	mg/L	0,1	0,3
<i>Bicarbonato</i>	mg/L	-	-
<i>CBO₅</i>	mg/L	-	-
<i>Cloretos</i>	mg/L	50	-
<i>Condutividade</i>	µS/cm	500	1070
<i>Cor</i>	un Pt	300	-
<i>CQO</i>	mg/L	5	73
<i>Dureza</i>	mg CaCO ₃ /L	200	130
<i>Ferro</i>	mg/L	0,1	0,1
<i>Fosfato</i>	mg/L	-	-
<i>Fósforo total</i>	mg/L	0,2	0,6
<i>Magnésio</i>	mg/L	15	10,3
<i>Manganês</i>	mg/L	0,05	-
<i>Nitratos</i>	mg NO ₃ /L	1	-
<i>pH</i>	Esc. Sorensen	6,5 - 7,5	7,7
<i>Sílica</i>	mg SiO ₂ /L	40-50	-
<i>Sólidos Dissolvidos Totais (SDT)</i>	mg/L	300	761,5
<i>Sólidos Suspensos Totais (SST)</i>	mg/L	5	10,5
<i>Sulfatos</i>	mg/L	100	219

Da análise da tabela anterior importa referir que as concentrações de alcalinidade, dureza, ferro total e magnésio, assim como o pH, encontram-se dentro dos valores máximos recomendados pelo autor. Apesar de a concentração de alumínio do efluente tratado ser superior ao valor máximo recomendado, admite-se que a diferença não é significativa. No entanto, uma vez que as concentrações de condutividade, CQO, fósforo total, SDT, SST e sulfatos se encontram consideravelmente acima dos valores recomendados, recomenda-se a implementação de tratamento terciário na ETARI, como descrito no capítulo 6.4.4. Deste modo, e de acordo com as percentagens de remoção estimadas para um tratamento de membranas, seria possível reduzir a concentração de SDT de 762mg/L para 38 mg/L e consequentemente a redução da condutividade de 1070 µS/cm para 37 µS/cm.

Usos externos

Rega na proximidade das instalações da NTR, nomeadamente em culturas das Classes C ou D, de acordo com a NP 4434 (culturas hortícolas para consumir cozinhadas, culturas forrageiras e pratenses, vinha e pomares, Classe C, ou culturas cerealíferas, culturas hortícolas para laboração industrial e culturas florestais, Classe D). Na tabela seguinte, recordam-se os parâmetros que caracterizam a qualidade da água para reutilização na rega mencionados no capítulo 4.1 comparativamente à qualidade da ARIT à saída da ETAR, cujos valores estão presentes na Tabela 6.8.

Tabela 8.3 | Parâmetros que caracterizam a qualidade da água para reutilização na rega (adaptado da NP 4434) vs a qualidade do efluente tratado da ETARI.

Parâmetros	Unidades	Valor máximo recomendado	Efluente tratado
pH a 20°C	Esc.Sor	6,5 – 8,4	7,7
Alumínio	mg Al/L	5	0,3
Nitratos	mg NO ₃ /L	50	-
Cloretos	mg Cl/L	70	150
Condutividade a 20°C	µS/cm	1000	1070
Ferro Total	mg Fe/L	5	0,12
RAS ¹³	-	8	7,9
Sólidos Dissolvidos Totais (SDT)	mg/L	640	762
SST	mg/L	60	10,5
Sulfatos	mg SO ₄ /L	575	219
Coliformes fecais	UFC/100 mL	100	-
Ovos de parasitas intestinais	Unidade/L	1	-

Da análise da tabela anterior importa referir que as concentrações de alumínio, ferro total, SST e sulfatos, assim como o pH, encontram-se dentro dos valores máximos recomendados pela NP 4434. Apesar de a condutividade do efluente tratado ser superior ao valor máximo recomendado, admite-se que a diferença não é significativa. No entanto, uma vez que as concentrações de cloretos e SDT se encontram substancialmente acima dos valores recomendados, recomenda-se a implementação de tratamento terciário na ETARI, como descrito no capítulo 6.4.4 e exemplificado abaixo da Tabela 8.2.

¹³ Razão de Adsorção do Sódio (Sodium Adsorption Ratio, na literatura anglo-saxónica) = $\frac{Na}{\sqrt{\frac{(Ca+Mg)}{2}}}$ com as concentrações expressa em meq/L

Por forma a procurar aferir da existência de terrenos cultivados na proximidade da NTR (num raio de 2 km), foi utilizado o índice NDVI. Este índice calcula refletâncias através de dois comprimentos de onda do espectro eletromagnético, o vermelho e o infravermelho (a banda do infravermelho está diretamente associada à presença de biomassa fotossinteticamente ativa). O valor do índice varia entre -1 e 1, sendo 1 o valor associado à maior atividade vegetativa e valores negativos ou próximos de 0 indicadores de áreas de água, edifícios ou solo não cultivado, isto é, com pouca ou nenhuma atividade da clorofila-a (Gomes, 2018). A figura seguinte permite evidenciar a existência de algumas parcelas agrícolas localizadas a Este, que totalizam cerca de 64 ha, admitindo-se que o formato circular das parcelas agrícolas resulte de sistemas de rega associados a um pivô central.

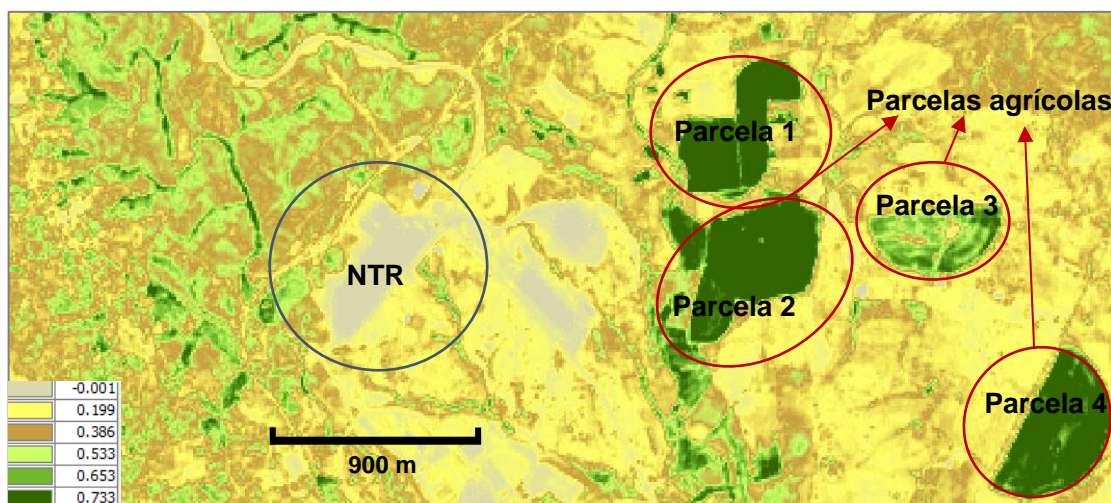


Figura 8.1| Índice NDVI aplicado à área circundante da NTR (imagem de satélite de 29/07/2018)

- Considerando uma dotação média de cerca de 5 000 m³/ha/ano, as necessidades de rega poderão ser estimadas em cerca de 320 000m³/ano, o que corresponde a cerca de 74% do volume anual de efluente produzido (dados de 2017);
- As necessidades de água não são constantes ao longo do ano, admitindo-se que durante o inverno a rega seja reduzida a um valor mínimo ou nulo;
- A disponibilidade de água é significativa, face à proximidade do rio Tejo;
- Os encargos com o armazenamento e o transporte da água residual tratada, desde a sua origem até ao local de consumo, serão da responsabilidade da NTR.

Dos aspetos referidos nos capítulos anteriores, é de relevar o seguinte, no confronto entre oferta e procura:

- Independentemente da prossecução da reutilização de efluente tratado, a ETARI tem de ser capaz de garantir o cumprimento dos objetivos de qualidade associados à nova LURH, para a totalidade do caudal;
- A informação qualitativa associada ao efluente tratado, no que se refere aos parâmetros SDT, Condutividade, Sódio, Cálcio e Magnésio e parâmetros microbiológicos é muito reduzida ou inexistente, o que limita a análise relativa aos seus potenciais usos;

- A presença de poluição microbiológica obriga à sua desinfecção, qualquer que seja o volume de água reutilizada e o seu uso;
- A qualidade do efluente tratado, após desinfecção¹⁴, é compatível com a sua reutilização na selagem de bombas e outros usos diversos (lavagens na fábrica) o que corresponderá à reutilização de cerca de 30% do efluente (17 m³/h) e, apesar dos valores de SDT, admite-se que o seja também na refrigeração.
- A qualidade do efluente tratado não é compatível com a sua valorização nas máquinas de papel, que são o “grande consumidor de água” e, também, o mais exigente, o que obriga a um tratamento complementar de afinação por forma a que possa ser reutilizado;
- Apesar das exigências de qualidade poderem variar significativamente com o tipo de cultura, concentrações de SDT e condutividades elevadas poderão limitar a reutilização do efluente tratado. A mistura de efluente com água com outra origem poderá constituir uma alternativa;
- Os custos com o transporte e o armazenamento de água residual tratada só poderão ser estimados, quando houver informação qualitativa e quantitativa mais detalhada relativamente à “procura”.

¹⁴ Admite-se que a desinfecção deva ser materializada através do recurso à radiação ultravioleta, por forma a limitar o efeito corrosivo associado à utilização do cloro. Com base numa consulta efetuada ao mercado e admitindo um valor de transmitância de 50%, uma concentração de sólidos em suspensão de 10 mg/L (após filtração) e uma intensidade de radiação de 40 mJ/cm², a custo de investimento da instalação será da ordem dos 30 000€.

8.2 Navigator Pulp Setúbal, S.A.

A oferta de água residual tratada é caracterizada pelos seguintes aspetos:

- Produção relativamente constante ao longo do tempo:
 - ETAR1 equivalente a 42 700 m³/dia, correspondentes a 1 780 m³/h
 - ETAR2 equivalente a 13 590 m³/dia, correspondentes a 566 m³/h;
- A água está disponível nas instalações da NPS;

Por outro lado, as características potenciais associadas à procura de água residual tratada são as seguintes:

Usos Internos

A estimativa dos consumos de água associados a cada fase de produção, na fábrica da pasta e nas fábricas de papel encontram-se apresentadas nas Tabela 7.2 e Tabela 7.3.

De acordo com a análise da informação disponibilizada e com a bibliografia estudada, os efluentes provenientes da fábrica da pasta são de qualidade inferior, sendo caracterizados por concentrações elevadas de condutividade, cor e SST, o que dificulta a sua reutilização interna integral devido à exigência elevada de qualidade da pasta a produzir. Deste modo, recomenda-se a realização de análises laboratoriais mais extensas ao efluente tratado da ETAR2 (incluindo parâmetros como a condutividade, cloretos, dureza e alcalinidade) e consequente análise de compatibilidade (cf. Tabela 3.3 e Tabela 8.4) para reutilizações internas.

Devido a ser um efluente de maior qualidade, quando comparado ao da ETAR1, sugere-se a sua reutilização em processos da produção da pasta, como a lavagem da pasta crua, cozimento, branqueamento.

Quanto ao efluente da ETAR1 recomenda-se uma mudança processual do fabrico da pasta através da introdução de uma fase de deslenhificação por O₂, potenciando a redução da carga de poluentes presentes nos efluentes do branqueamento e a redução da cor no efluente final.

De modo a averiguar se a ARIT é de qualidade suficiente para ser valorizada internamente nas torres de arrefecimento ou nos processos de produção foi elaborada uma tabela com os dados de qualidade definidos na Tabela 3.3.

Tabela 8.4 | Parâmetros que caracterizam a qualidade da água para reutilização em usos internos vs a qualidade do efluente tratado da ETAR1 e ETAR2.

Parâmetros	Unidades	Caldeiras	Refrigeração	Pasta Química	AF CIS	ARIT1	ARIT2
Alcalinidade	mg CaCO ₃ /L	300	350	75	100		
Alumínio	mg/L						
Bicarbonato	mg/L		24				
CBO ₅	mg/L		25			8	5
Cloretos	mg Cl/L			200	46,9		
Condutividade	µS/cm	900			473	3910	
Cor	un Pt			30		744	
CQO	mg/L		75			381	32,8
Dureza	mg CaCO ₃ /L	0,3	650	100	124,4		
Ferro	mg/L	0,1		1			
Fosfato	mg/L		4				
Fósforo total	mg/L					4,3	0,26
Magnésio	mg/L						
Manganês	mg/L			0,5			
Nitratos	mg NO ₃ /L					10,2	8,1
pH	Esc. Sorensen	8,5 - 9,5	6,9 - 9,0	6,0 - 10,0	7,9	7,6	7,4
Sílica	mg SiO ₂ /L	90	50	50			
Sólidos Dissolvidos Totais (SDT)	mg/L	600	500	300			
Sólidos Suspensos Totais (SST)	mg/L	10	100	10		13	7,2
Sulfatos	mg/L					219	

Da análise da tabela anterior é possível aferir que, tanto a ARIT1 como a ARIT2, não estão aptas a ser reutilizadas nos usos indicados acima. Todos os parâmetros indicados ultrapassam os valores recomendados, com a exceção de CBO₅, SST e o pH. Deste modo, admite-se a necessidade da aplicação de tratamento terciário em ambas as ETAR1, aquando da reutilização das respetivas ARIT. No entanto, importa referir que não existe informação suficiente sobre os parâmetros não analisados em ambas as ARIT, não sendo necessário tirar conclusões desta análise.

Usos Externos

Rega na proximidade das instalações da NTR, nomeadamente em culturas das Classes C ou D, de acordo com a NP 4434 (culturas hortícolas para consumir cozinhadas, culturas forrageiras e pratenses, vinha e pomares, Classe C, ou culturas cerealíferas, culturas hortícolas para laboração industrial e culturas florestais, Classe D). Na tabela seguinte, recuperam-se os parâmetros que caracterizam a qualidade da água para reutilização na rega mencionados no capítulo 4.1 comparativamente à qualidade da ARIT à saída da ETAR, cujos valores estão presentes na Tabela 6.8.

Tabela 8.5 | Parâmetros que caracterizam a qualidade da água para reutilização na rega (adaptado da NP 4434) vs a qualidade do efluente tratado da ETAR1 e 2.

Parâmetros	Unidades	Valor máximo recomendado	ARIT1	ARIT2
pH a 20°C	Esc.Sor	6,5 – 8,4	7,6	7,4
Alumínio	mg Al/L	5	-	-
Nitratos	mg NO ₃ /L	50	10,2	8,1
Cloretos	mg Cl/L	70	-	-
Condutividade a 20°C	µS/cm	1000	3910	-
Ferro Total	mg Fe/L	5	-	-
RAS	-	8	-	-
Sólidos Dissolvidos Totais (SDT)	mg/L	640	-	-
SST	mg/L	60	13	7,2
Sulfatos	mg SO ₄ /L	575	-	-
Coliformes fecais	UFC/100 mL	100	-	-
Ovos de parasitas intestinais	Unidade/L	1	-	-

Da análise da tabela anterior importa referir que as concentrações de SST, pH e nitratos se encontram dentro dos valores máximos recomendados pela NP 4434. A condutividade associada à ARIT1 é significativamente superior ao valor máximo recomendado, recomenda-se a implementação de tratamento terciário na ETAR1, como descrito no capítulo 7.5.3. Não existe informação suficiente para uma análise eficiente sobre a reutilização da ARIT na rega, sendo necessário realizar análises laboratoriais que incorporem mais parâmetros de qualidade.

No entanto, e por forma a procurar aferir da existência de terrenos cultivados na proximidade da NPS, com um raio de cerca de 4km, foi utilizado, de igual modo ao subcapítulo anterior, o índice NDVI.

A figura seguinte permite evidenciar a existência de algumas parcelas agrícolas localizadas a Este do CIS, admitindo-se que o formato em quadrantes retangulares bem definidos e concisos indica que algum tipo de cultura possa é utilizada nestes locais.

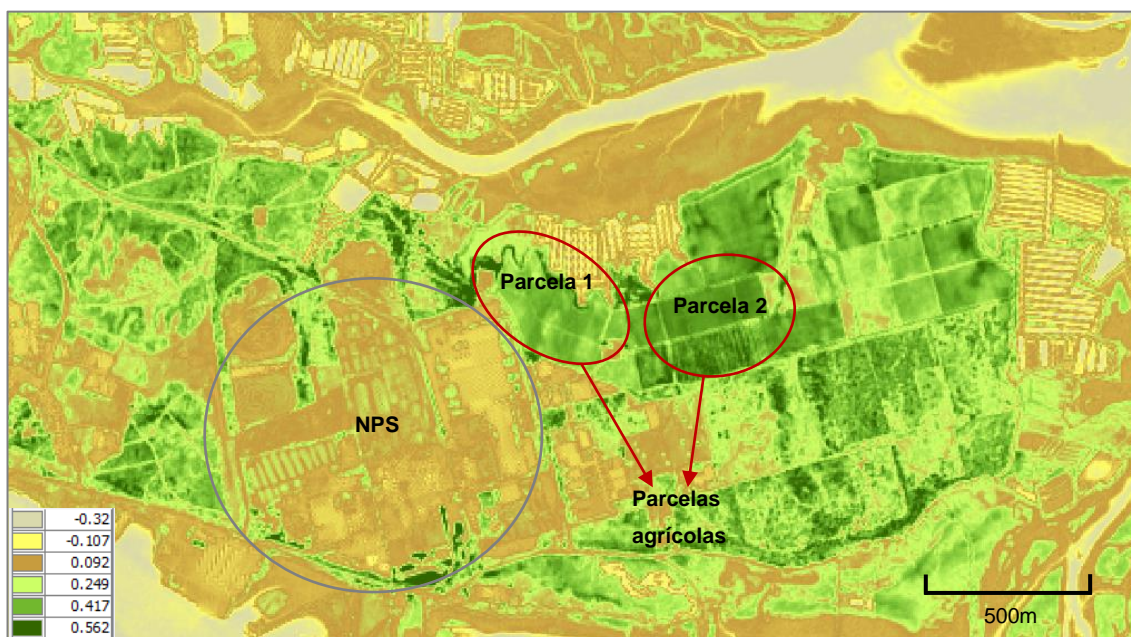


Figura 8.2 | Índice NDVI aplicado à área circundante do CIS (imagem de satélite de 29/07/2018)

Os resultados obtidos pela aplicação do índice NDVI não foram conclusivos uma vez que o maior valor obtido na imagem acima foi de 0,562 e não é homogêneo. No entanto, por observação direta da imagem de satélite (Figura 8.3), e através da utilização do Google Street View, pode-se afirmar que na parcela 1 se encontra uma vinha, e a parcela 2 aparenta a existência de uma espécie arbórea como oliveiras ou sobreiros.

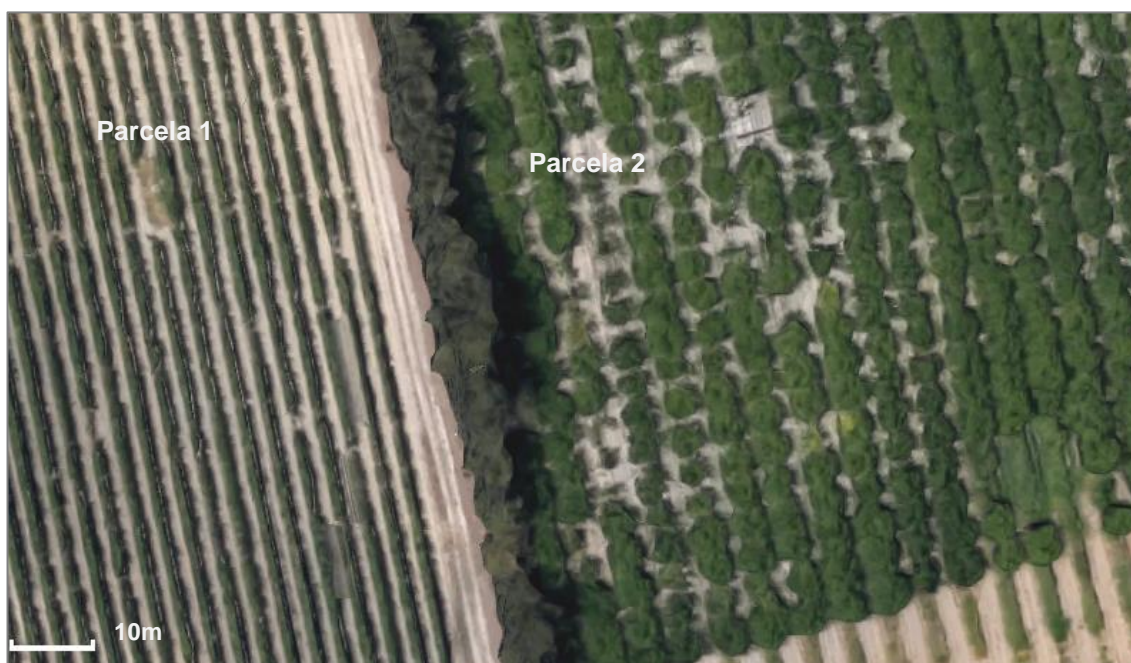


Figura 8.3 | Observação direta através de imagens satélite do dia 29/07/2018

Não foi possível calcular as necessidades de rega destes terrenos devido à falta de informação relativamente à área e falta de certeza do tipo de culturas presentes nos mesmos. No entanto, é possível afirmar que:

- As necessidades de água não são constantes ao longo do ano, admitindo-se que durante o inverno a rega seja reduzida a um valor mínimo ou nulo;
- A disponibilidade de água apesar de significativa, face à proximidade do estuário do Sado e a aquíferos presentes na zona, encontra-se em situação instável sob o perigo de intrusão salina no aquífero;
- Os encargos com o armazenamento e o transporte da água residual tratada, desde a sua origem até ao local de consumo, serão da responsabilidade da NPS.

9. Conclusões

9.1 Navigator Tissue Ródão, S.A.

A síntese da análise efetuada no capítulo 6 e as principais conclusões, incluem:

- As máquinas de papel são o uso ao qual está associado a qualidade mais exigente, sendo compatível, no entanto, com águas duras, e que, consequentemente, apresentem valores de Condutividade e de SDT não negligenciáveis (águas agressivas e corrosivas), podendo igualmente apresentar Cor. A faixa de valores de pH é relativamente estreita, potenciando-se valores próximos da neutralidade;
- A fábrica reutiliza uma pequena fração da água branca em alguns processos considerados menos nobres. A água reutilizada é sujeita a um processo de clarificação (flotação e filtração); A reutilização da água de processo deve ser cautelosamente desenvolvida. Aquando da utilização de água clarificada é necessário garantir o mesmo nível de limpeza e manutenção das vestimentas, no caso dos chuveiros de baixa pressão. De notar também que o uso de água clarificada, ou até mesmo tratada pela ETARI (20-35°C), na selagem de bombas pode comprometer a eficiência do sistema de vácuo. No caso da substituição da água fresca por água clarificada na preparação de aditivos (químicos) é necessário verificar com os fornecedores se este processo pode ser realizado com uma qualidade de água menos nobre;
- O efluente bruto é caracterizado por valores de condutividade superiores a 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, valores de CQO entre 500 e 1000 mg/L, valores CBO₅ entre 250 e 300 mg/L e valores de SST entre 250 e 350 mg/L;
- As concentrações de N e de P são claramente inferiores às que estão normalmente associadas à composição de efluentes urbanos, podendo ocorrer situações de algum déficit de nutrientes que limitem o desempenho dos processos biológicos. Deste modo, o seu doseamento, em caso de necessidade, deverá ser controlado com maior rigor ;
- A nova LURH é mais restritiva relativamente aos parâmetros CBO₅, CQO, SST, Azoto total e Fósforo total, o que obriga a um esforço de tratamento e de monitorização mais elevado;
- As eficiências de remoção dos parâmetros CQO, CBO₅ e SST são elevadas. Por outro lado, a remoção de Condutividade e de SDT é marginal, bem como de Cloretos, Sódio e Sulfatos. O efluente tratado é, tal como a água de processo, agressivo e corrosivo;
- Admite-se que se justifica a inclusão de uma solução de tratamento terciário, como uma operação de filtração a jusante do tratamento biológico, por forma a reduzir a presença de matéria em suspensão e, também, da CQO, azoto e fósforo que lhe está associada;
- A informação qualitativa relativa ao efluente bruto e ao efluente primário é escassa;
- A informação qualitativa relativamente ao efluente tratado é escassa, nomeadamente no que respeita aos parâmetros Cor, Cloretos, Condutividade, SDT, Sódio, Cálcio, Magnésio e parâmetros microbiológicos;

- A variabilidade no que respeita às concentrações de azoto e de fósforo, poderá determinar, ou não, a necessidade de se dosear ureia e, ou ácido fosfórico, com o objetivo de garantir a prossecução dos processos biológicos. Por outro lado, quando a concentração daqueles nutrientes no efluente primário é superior às necessidades do processo biológico, a sua presença no efluente tratado poderá limitar o cumprimento dos limites de descarga, nomeadamente aquando da entrada em vigor da nova LURH, pelo que a ETARI deverá poder garantir a sua remoção (doseamento de Cloreto Férrico a montante da operação de filtração para garantir a remoção de fósforo e uma sequência reator anóxico-reator aeróbio para garantir a remoção de azoto);
- A reutilização do efluente tratado nas máquinas de papel obriga a um tratamento complementar de afinação por membranas, ao qual está associado um custo significativo (o custo do m³ de água reutilizada será claramente superior ao custo do m³ de água comprada à CELTEJO);
- Admite-se que o efluente tratado possa ser reutilizado na rega sem ser necessário recorrer a tratamentos de afinação. No entanto, face à disponibilidade de água para rega decorrente da proximidade do rio Tejo, à variação sazonal das necessidades de água para rega e ao custo das infraestruturas de armazenamento e transporte de água residual tratada, a prossecução desta alternativa será limitada;
- A análise mais detalhada da valorização do efluente tratado nas instalações da NTR, ou externamente, na rega, carece de informação mais consistente relativamente à qualidade do efluente tratado, nomeadamente no que se refere aos parâmetros Condutividade, SDT, de Cloretos, Sódio e Sulfatos.

9.2 Navigator Pulp Setúbal, S.A.

A síntese da análise efetuada no capítulo 7 e as principais conclusões, incluem:

- A produção de pasta química *kraft* é o uso ao qual está associado uma qualidade de água mais exigente, sendo compatível, no entanto, com águas duras, e que, consequentemente, apresentem valores de Condutividade e de SDT não negligenciáveis (águas agressivas e corrosivas), podendo igualmente apresentar Cor. A faixa de valores de pH é relativamente estreita, potenciando-se valores próximos da neutralidade;
- Em qualquer das ARIT, as concentrações de N e de P são claramente inferiores às que estão normalmente associadas à composição de efluentes urbanos, podendo ocorrer situações de algum déficit de nutrientes que limitem o desempenho dos processos biológicos. Deste modo, o seu doseamento, em caso de necessidade, deverá ser controlado com maior rigor;
- O efluente bruto da ETAR1 é caracterizado por valores de condutividade superiores a 3000 µS/cm, valores de cor entre 700 e 1100 U.H., valores de CQO superiores a 1000 mg/L, valores CBO₅ entre 200 e 300 mg/L, valores de SST entre 200 e 500 mg/L e valores de AOX entre 20 e 50 mg/L;

- Na ETAR1, as eficiências de remoção dos parâmetros CQO, CBO₅, AOX e SST são elevadas. Por outro lado, a remoção de Condutividade e de SDT é marginal. O efluente tratado é agressivo e corrosivo;
- Na ETAR1, e devido à presença de fósforo significativa na pasta devido ao ser derivada do eucalipto, a variabilidade no que respeita às concentrações de nutrientes, poderá determinar, ou não, a necessidade de se dosear ureia, com o objetivo de garantir a prossecução dos processos biológicos. Por outro lado, quando a concentração de fósforo no efluente primário é superior às necessidades do processo biológico, a sua presença no efluente tratado poderá limitar o cumprimento dos limites de descarga, pelo que a ETAR1 deverá poder garantir a sua remoção (doseamento de Cloreto Férrico a montante da operação de filtração para garantir a remoção de fósforo);
- Na ETAR1, admite-se que se justifica a inclusão de uma solução de tratamento terciário, como uma operação de filtração a jusante do tratamento biológico, por forma a reduzir a presença de condutividade, SDT, matéria em suspensão e, também, da CQO, azoto e fósforo que lhe está associada;
- Na ETAR2 informação qualitativa relativa ao efluente bruto é escassa;
- Na ETAR2, a informação qualitativa relativamente ao efluente tratado é escassa, nomeadamente no que respeita aos parâmetros Cor, Cloretos, Condutividade, SDT, Sódio, Cálcio, Magnésio e parâmetros microbiológicos;
- A reutilização do efluente tratado da ETAR2 na Fábrica da Pasta obriga a um tratamento complementar de afinação por membranas, ao qual está associado um custo significativo (o custo do m³ de água reutilizada será claramente superior ao custo do m³ de água captada e tratada pela NPS);
- Admite-se que o efluente tratado possa ser reutilizado na rega após uma análise mais detalhada dos parâmetros de qualidade. No entanto, face à disponibilidade de água para rega decorrente do aquífero, à variação sazonal das necessidades de água para rega e ao custo das infraestruturas de armazenamento e transporte de água residual tratada, a prossecução desta alternativa será limitada;
- Para a ETAR2, a análise mais detalhada da valorização do efluente tratado nas instalações da NPS, ou externamente, na rega, carece de informação mais consistente relativamente à qualidade do efluente tratado, nomeadamente no que se refere aos parâmetros Condutividade, SDT, de Cloretos, Sódio e Sulfatos.

9.3 Síntese

A síntese da análise efetuada sobre a problemática da reutilização de ARIT nos capítulos anteriores e as principais conclusões, incluem:

- A análise da reutilização de ARIT em processos internos está limitada à qualidade da gestão informacional dos complexos industriais. Implementar estes sistemas exige extenso conhecimento, não só sobre o tratamento da ARIT, como também dos processos internos e exigências de qualidade por parte dos fornecedores de equipamentos, reagentes e químicos utilizados na produção;
- A reutilização do efluente, independentemente do uso, obriga à remoção da poluição microbiológica;
- O fornecimento de água residual a entidades privadas obriga à respetiva contratualização e ao pedido, por parte daquelas, de uma LURH/LA à APA, não carecendo, no entanto, de validação por parte da entidade reguladora do setor (ERSAR). Por outro lado, a produção e fornecimento, de água residual tratada com a qualidade compatível com o uso a que se destina e o respetivo controlo de qualidade até ao ponto de entrega, será da responsabilidade da *The Navigator Company*;
- A valorização dos efluentes, urbanos ou industriais, é um tema de discussão extensa na comunidade científica, sendo empregue em diversos locais por motivos económicos ou ambientais. Contudo, a necessária educação ambiental da população geral, e até mesmo dos quadros da gestão de topo, para a aceitação e consequente utilização da água residual tratada ainda não é suficiente para a ampla aplicabilidade do tópico;
- A aplicabilidade de sistemas topo de gama para valorização da ARIT envolve, por norma, a utilização de tecnologias de membranas, que geram quantidades substanciais de concentrado e são intensas consumidoras de energia. Num futuro próximo, o maior desafio da reutilização de ARIT é o desenvolvimento de novas ou da adaptação das tecnologias existentes de modo a serem mais economicamente viáveis.

10. Recomendações futuras

O tema de reutilização de ARIT é foco de uma multiplicidade de estudos devido à sua variada aplicabilidade e às vantagens associadas. De modo a complementar a análise realizada nesta dissertação e de dar indicações úteis à indústria papeleira, as propostas seguintes são sugeridas.

- As fábricas devem otimizar a sua gestão ambiental, tendo acesso rápido e descomplicado à informação de consumos (recorrendo a caudalímetros à entrada e saída dos órgãos processuais), qualidade da água branca associada a cada fase de produção;
- A compilação da informação sobre o funcionamento das ETAR;
- Ações de formação ambiental para a gestão de topo das corporações papeleiras fornecidas pela entidade reguladora (APA e ERSAR) de modo a incentivar o investimento na prevenção, tratamento e reutilização de efluentes, que a longo prazo (devido à escassez de água) será crucial em qualquer fábrica;
- O aprofundamento deste estudo através da realização de pilotos laboratoriais e, consequentemente, pilotos à escala industrial é essencial para determinar as tecnologias terciárias mais adequadas ao efluente de cada fábrica;

Referências Bibliográficas

- Adamur, S. (1997). *Paper Machine Clothing*. Alabama: Tchnomic Publishing Company, Inc.
Retrieved from <http://books.google.com.br/books?id=QwtwAAAAIAAJ>
- Águas do Algarve S.A. (2015). Reutilização de água residual tratada. In *Ciclo de Debates Sobre Regadio - 3º Debate*. Faro.
- Alexandersson, T. (2003). *Water Reuse in Paper Mills in Biological Treatment*. Lund University.
- Alves, C. (2010). *Tratamento de Águas de abastecimento* (3ª). Publindústria.
- APA. (2012). Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água 2012 - 2020, 201.
- Arantes, Ó. (2017). Águas NTR. The Navigator Company.
- Asano, T., Burton, F., Leverenz, H., Tsuchisashi, R., & Tchobanoglous, G. (2007). *Water Reuse: Issues, Technologies, and Applications*. (Metcalf & Eddy | AECOM, Ed.) (First, Vol. 15). McGraw Hill.
- Asano, T., & Cotruvo, J. A. (2004). Groundwater recharge with reclaimed municipal wastewater: Health and regulatory considerations. *Water Research*, 38(8), 1941–1951.
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2004.01.023>
- Bajpai, P. (2017). Water Usage in the Pulp and Paper Processes. In *Pulp and Paper Industry* (pp. 37–53). Kanpur: Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811099-7.00004-6>
- Barneto, A. G., Vila, C., & Ariza, J. (2011). Eucalyptus kraft pulp production: Thermogravimetry monitoring. *Thermochimica Acta*, 520(1–2), 110–120.
<https://doi.org/10.1016/j.tca.2011.03.027>
- Berg, P., & Lingqvist, O. (2017). Pulp, paper, and packaging in the next decade: Transformational change. Retrieved January 11, 2019, from <https://www.mckinsey.com/industries/paper-and-forest-products/our-insights/pulp-paper-and-packaging-in-the-next-decade-transformational-change>
- Blanco, Á., Hermosilla, D., & Negro, C. (2015). Water Reuse Within the Paper Industry. In K. Kummerer, D. Dionysiou, & D. Fatta-Kassinos (Eds.), *Wastewater Reuse and Current Challenges* (pp. 213–237). Springer International Publishing.
https://doi.org/10.1007/698_2015_360
- Blechschiidt, J., & Heinemann, S. (2008). A Short History of Mechanical Pulping. In H. Sixta (Ed.), *Handbook of Pulp* (pp. 1073–1074). WILEY-VCH Verlag GmbH & Co.
<https://doi.org/10.1094/APSnetFeature-2008-0308>
- Bobu, E., & Gavrilescu, D. (2006). Reducing Liquid effluents in Papermaking. *Environmental Engineering and Management Journal*, 5(3), 319–336.
- Cabrera, M. N. (2018). Pulp Mill Wastewater: Characteristics and Treatment. In *Biological Wastewater Treatment and Resource Recovery* (Vol. 2, pp. 119–139). InTech.

<https://doi.org/10.5772/32009>

- Catalkaya, E. C., & Kargi, F. (2007). Color, TOC and AOX removals from pulp mill effluent by advanced oxidation processes: A comparative study. *Journal of Hazardous Materials*, 139(2), 244–253. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.06.023>
- CELPA. (2016). *Boletim Estatístico 2016*. Retrieved from <http://www.celpa.pt/category/boletins-estatisticos/>
- CELPA. (2017). *Boletim Estatístico da Indústria Papeleira Portuguesa*. Lisboa.
- CEPI. (2015). *Best Available Technique (BAT) Conclusions for the Production of Pulp, Paper and Board Best Available Techniques*. Retrieved from <http://www.cepi.org/mediacentre/publications>
- CEPI. (2017). Key Statistics European Pulp and Paper Industry, 1–32. Retrieved from <http://www.cepi.org/keystatistics2017>
- Cheryan, M. (1998). *Ultrafiltration and Microfiltration Handbook* (2^a). CRC Press.
- Chu, D., Forbes, M., Backstorm, J., Gheorghe, C., & Chu, S. (2011). Model Predictive Control and Optimization for Papermaking Processes. In T. Zheng (Ed.), *Advanced Model Predictive Control* (pp. 309–342). InTech. <https://doi.org/10.5772/18535>
- Comissão Europeia. (2015). *Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Production of Pulp, Paper and Board. Joint Reasearch Center - Institute for Prospective Technological Studies*. Luxembourg. <https://doi.org/10.2791/370629>
- Cruz, P. (2015). Reutilização de água residual tratada no Algarve. In *Ciclo de Debates APRH*. Faro: APA.
- De Gisi, S., Casella, P., Cellamare, C. M., Ferraris, M., Petta, L., & Notarnicola, M. (2017). Wastewater Reuse. In *Encyclopedia of Sustainable Technologies* (Vol. 4, pp. 53–68). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.10528-7>
- Decisão da Comissão Europeia 2014/687/UE. (2014). Estabelece as conclusões sobre as melhores técnicas disponíveis (MTD) para a produção de pasta de papel, papel e cartão, nos termos da Diretiva 2010/75/UE do Parlamento Europeu e do Conselho. *Jornal Oficial Da União Europeia*, L284, 76–126.
- Decreto-Lei n.º 152/97 de 19 de junho. (1997). Condições gerais a que uma dada utilização do domínio hídrico, a descarga de águas residuais urbanas nos meios aquáticos, deve observar. *Diário Da República*, (139), 2959–2966.
- Decreto-Lei n.º 236/98 de 1 de agosto. (1998). Estabelece normas, critérios e objetivos de qualidade com a finalidade de proteger o meio aquático e melhorar a qualidade das águas em função dos seus principais usos. *Diário Da República*, 176, 3676–3722.
- Decreto Regulamentar n.º 23/95 de 23 de agosto. (1995). Ministério das obras públicas,

- transportes e comunicações. *Diário Da República - 1 Série-B*, (194), 5284–5319.
- Dias, A. C., Arroja, L., & Capela, I. (2007). Life cycle assessment of printing and writing paper produced in Portugal. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 12(7), 521–528. <https://doi.org/10.1065/lca2006.08.266>
- Direção-Geral do Território. (2018). A ocupação e uso do solo em 2015 e dinâmicas territoriais 1995-2007-2010-2015 em Portugal Continental.
- Diretiva 2010/75/UE de 24 de Novembro. (2010). Relativa às emissões industriais (prevenção e controlo integrados da poluição). *Jornal Oficial Da União Europeia*, L334, 17–119.
- ERSAR. (2007). Recomendação IRAR n.º 02/2007. *Recomendações IRAR*, 1–11.
- ERSAR. (2010). Guia Técnico 14 - Reutilização de águas residuais. *Série GUIAS TÉCNICOS*, 14, 1–342. <https://doi.org/304814/10>
- ERSAR. (2016). *Relatório anual dos serviços de águas e resíduos em Portugal* (Vol. 1).
- Fernandes, N. (2007). *Modelização de um Digestor Contínuo de Cozimento Kraft*. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.
- Foster, S. S. D., & Chilton, P. J. (2004). Downstream of downtown: Urban wastewater as groundwater recharge. *Hydrogeology Journal*, 12(1), 115–120. <https://doi.org/10.1007/s10040-003-0296-y>
- Garg, S. K., & Tripathi, M. (2011). Strategies for Decolorization and Detoxification of Pulp and Paper Mill Effluent. In D. Whitacre (Ed.), *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology* (Vol. 212, pp. 113–136). New York: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3137-4>
- Gavrilescu, M., Teodosiu, C., Gavrilescu, D., & Lupu, L. (2008). Strategies and practices for sustainable use of water in industrial papermaking processes. *Engineering in Life Sciences*, 8(2), 99–124. <https://doi.org/10.1002/elsc.200720236>
- Genovese, A., Acquaye, A., Figueroa, A., & Koh, L. (2017). Sustainable supply chain management and the transition towards a circular economy: Evidence and some applications. *Omega*, 344–357. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2015.05.015>
- Gleadow, P., & Stratton, S. (2003). *Pulp Mill Closure: A Review of Global Technology Developments and Mill Experiences in the 1990's*. Research Triangle Park, North Carolina.
- Gomes, D. F. de O. (2018). *Exploração da utilização de dados de observação da Terra para deteção de utilizações ilegais de água no setor agrícola – experiências em Portugal e Espanha*. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.
- Gordon, G., & Rosenblatt, A. A. (2005). Chlorine dioxide: The current state of the art. *Ozone: Science and Engineering*, 27(3), 203–207. <https://doi.org/10.1080/01919510590945741>
- Hargrave, J. (2013). Disruptive Technological History: Papermaking to Digital Printing. *Journal of*

- Scholarly Publishing*, 44(3), 221–236. <https://doi.org/10.3138/jsp.44.3.002>
- Holik, H. (Ed.). (2013). *Handbook of Paper and Board*. Weinheim, Germany: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. <https://doi.org/10.1002/9783527652495>
- Holik, H., Gamsjager, N., Westerkamp, A. H., SCHMITT, M., STETTER, A., TIETZ, M., ... MIRSBERGER, P. (2012). Paper and Board, 6. Manufacturing. *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, 1–57. https://doi.org/10.1002/14356007.o18_o14
- Hubbe, M. A., Metts, J. R., Hermosilla, D., Blanco, Á., Yerushalmi, L., Haghighat, F., ... Elliott, A. (2016). Wastewater Treatment and Reclamation : A Review of Pulp and Paper Industry Practices and Opportunities. *BioResources*, 11, 1–139.
- Iglesias, R., Ortega, E., Batanero, G., & Quintas, L. (2010). Water reuse in spain: Data overview and costs estimation of suitable treatment trains. *Desalination*, 263(1–3), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2010.06.038>
- ISO 16075-1. (2015). Guidelines for treated wastewater use for irrigation projects - Part 1: The basis of a reuse project for irrigation.
- Jung, H., & Pauly, D. (2011). Water in the Pulp and Paper Industry. In P. Wilderer (Ed.), *Treatise on Water Science* (pp. 667–683). Munique, Alemanha: Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53199-5.00100-7>
- Kamali, M., & Khodaparast, Z. (2015). Review on recent developments on pulp and paper mill wastewater treatment. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 114, 326–342. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2014.05.005>
- Karthik, M., Dhodapkar, R., Manekar, P., Aswale, P., & Nandy, T. (2011). Closing water loop in a paper mill section for water conservation and reuse. *Desalination*, 281, 172–178. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2011.07.055>
- Kossar, M. J., Amaral, K. J., & Erbe, M. C. L. (2013). Proposal for water reuse in the Kraft pulp and paper industry. *Water Practice & Technology*, 8(3–4), 359–374. <https://doi.org/10.2166/wpt.2013.036>
- Krotscheck, A. W., & Sixta, H. (2008). Recovery. In H. Sixta (Ed.), *Handbook of Pulp* (pp. 967–996). WILEY-VCH Verlag GmbH & Co.
- Leitão, T., Ferreira, J., Carvalho, T., Monteiro, J., Oliveira, M., Agostinho, R., ... Henriques, M. J. (2016). Gestão de Recarga Induzida de Aqíferos. Exemplos do Projeto MARSol no Algarve. *13.º Congresso Da Água*, 1–15.
- Li, Y., & Ma, C. (2015). Circular economy of a papermaking park in China: A case study. *Journal of Cleaner Production*, 92, 65–74. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.12.098>
- Lopes, A. C., Mounteer, A. H., Stoppa, T. V., & Aquino, D. S. (2013). Biological activity of bleached kraft pulp mill effluents before and after activated sludge and ozone treatments. *Water*

- Science and Technology*, 67(2), 333–339. <https://doi.org/10.2166/wst.2012.567>
- Lovelady, E. M., Halwagi, M. El, & Krishnagopalan, G. A. (2007). An integrated approach to the optimisation of water usage and discharge in pulp and paper plants. *International Journal of Environment and Pollution*, 29(1/2/3), 274. <https://doi.org/10.1504/ijep.2007.012807>
- Mänttari, M., Kallioinen, M., & Nyström, M. (2015). Membrane technologies for water treatment and reuse in the pulp and paper industries. In A. Basile, A. Cassano, & N. Rastogi (Eds.), *Advances in Membrane Technologies for Water Treatment: Materials, Processes and Applications* (pp. 581–603). Cambridge: Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-121-4.00019-8>
- MAOTE. (2015). Pensaar 2020, 1, 1–117.
- Marecos, H. (2012). Os desafios da implementação de projectos de reutilização de águas residuais em Portugal. In I. P. da Qualidade (Ed.). Évora: Comissão Sectorial para a Água.
- Mauchauffee, S., Denieul, M. P., & Coste, M. (2012). Industrial wastewater re-use: Closure of water cycle in the main water consuming industries - The example of paper mills. *Environmental Technology (United Kingdom)*, 33(19), 2257–2262. <https://doi.org/10.1080/09593330.2012.728734>
- McBroom, M. (2011). *Wood Science - Pulp and Paper*. Texas.
- Metcalf & Eddy. (2003). *Wastewater Engineering - Treatment and reuse* (4th ed.). McGraw Hill Higher Education.
- Moura, J. V. (2015). *Melhoria Contínua num Processo de Produção de Papel*. Instituto Superior Técnico.
- Muralikrishna, I. V., & Manickam, V. (2017). *Wastewater Treatment Technologies. Environmental Management*. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-811989-1.00012-9>
- Navigator Pulp Setúbal S.A. (2018). *Resumo Não-Técnico*. Setúbal: Documento fornecido pela The Navigator Company.
- Norma Portuguesa 4434:2015. (2015). Reutilização de águas residuais urbanas tratadas na rega. *IPQ*.
- Olejnik, K. (2011). Water Consumption in Paper Industry - Reduction Capabilities and the Consequences. In A. T. Atimtay & S. K. Sikdar (Eds.), *Security of Industrial Water Supply and Management* (pp. 113–129). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-1805-0>
- Oller, I., Malato, S., & Sánchez-Pérez, J. A. (2011). Combination of Advanced Oxidation Processes and biological treatments for wastewater decontamination-A review. *Science of the Total Environment*, 409(20), 4141–4166. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.08.061>
- Ordóñez, R., Hermosilla, D., Blanco, Á., & San Pío, I. (2010). Replacement of fresh water use by final effluent recovery in a highly optimized 100% recovered paper mill. *Water Science and Technology*, 62(7), 1694–1703. <https://doi.org/10.2166/wst.2010.933>
-

- Patari, S., Tuppur, A., Toppinen, A., & Korhonen, J. (2015). Global sustainability megaforges in shaping the future of the European pulp and paper industry towards a bioeconomy. *Forest Policy and Economics*, 9. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2015.10.009>
- Patt, R., Kordsachia, O., & Suttinger, R. (2011). Pulp. In *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry* (pp. 477–540). WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. <https://doi.org/10.1002/14356007.a18>
- Petrochem. (2019). Tratamento de Água de Torres de Refrigeração.
- Piadeh, F., Moghaddam, M. R. A., & Mardan, S. (2014). Present situation of wastewater treatment in the Iranian industrial estates: Recycle and reuse as a solution for achieving goals of eco-industrial parks. *Resources, Conservation and Recycling*, 92, 172–178. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2014.06.004>
- Pokhrel, D., & Viraraghavan, T. (2004). Treatment of pulp and paper mill wastewater - A review. *Science of the Total Environment*, 333(1–3), 37–58. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2004.05.017>
- Portaria n.º 505/92 de 19 de Junho. (1992). Estabelece normas de descarga de águas residuais do setor da pasta de celulose. *Diário Da República - 1 Série-B*, (139), 2896–2898.
- Ragunathan, R., & Swaminathan, K. (2004). Biological treatment of a pulp and paper industry effluent by *Pleurotus* spp. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 20(4), 389–393. <https://doi.org/10.1023/B:WIBI.0000033064.63031.1c>
- Rodrigo, D., Calva, E. J. L., & Cannan, A. (2012). Total water management. *Finishing*, (EPA/600/R-12/551), 1–131. Retrieved from www.epa.gov/gateway/science
- Rosenfeld, P. E., & Feng, L. G. H. (2011). The Paper and Pulp Industry. In *Risks of Hazardous Wastes* (1st ed., pp. 103–113). Oxford: Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-1-4377-7842-7.00009-X>
- Santos, M. O., & Almada-Lobo, B. (2012). Integrated pulp and paper mill planning and scheduling. *Computers and Industrial Engineering*, 63(1), 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2012.01.008>
- Sanusi, O., & Menezes, G. B. (2014). Pulp and Paper Mill Effluents Management. *Water Environment Research*, 86(10), 1535–1544. <https://doi.org/10.2175/106143014X14031280668137>
- Sappi North America. (2012). *Understanding paper brightness*. Printer Technical Service.
- Sharma, R., Chandra, S., Singh, A., & Singh, K. (2014). Degradation of pulp and paper mill effluents. *The IIOAB Journal*, 5(3), 6–12.
- Shenoy, P., & Aithal, P. S. (2016). A Study on History of Paper and Possible Paper Free World. *International Journal of Management, IT and Engineering*, 6(1), 337–355.
-

- Sixta, H. (2008). Pulp properties and applications. In H. Sixta (Ed.), *Handbook of Pulp* (pp. 1009–1067). WILEY-VCH Verlag GmbH & Co.
- Sridhar, R., Sivakumar, V., Immanuel, V., & Maran, J. (2011). Treatment of pulp and paper industry bleaching effluent by electrocoagulant process. *Journal of Hazardous Materials*, 186(2–3), 1495–1502. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.12.028>
- Statista. (2017). Production volume of paper and cardboard worldwide 2006 to 2016 (in million metric tons). Retrieved January 10, 2019, from <https://www.statista.com/statistics/270314/production-of-paper-and-cardboard-in-selected-countries/>
- Suez Degremont. (2018). Paper mills and the paper pulp industries. In *The digital publication of the Water Treatment Handbook for water treatment professionals*.
- Süss, H.-U. (2008). Environmental Aspects of Pulp Production. In H. Sixta (Ed.), *Handbook of Pulp* (Vol. 1, pp. 997–1008). WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. <https://doi.org/10.1002/9783527619887.ch10>
- Tao, J., Long, X., Li, Z., & Ying, G. (2018). Reusing tissue paper mill effluent water as corrugated paper mill intake water: Case study of a new clean production measure. *Environmental Progress and Sustainable Energy*, 37(3), 934–941. <https://doi.org/10.1002/ep.12747>
- The Navigator Company. (2018). O processo produtivo do papel. Retrieved September 21, 2018, from [https://www.strathmoreartist.com/tl_files/content/blog/2015 Blog/Fourdrinier Diagram.JPG](https://www.strathmoreartist.com/tl_files/content/blog/2015%20Blog/Fourdrinier%20Diagram.JPG)
- Tietenberg, T., & Lewis, L. (2011). *Environmental & Natural Resource Economics* (9th ed.). New Jersey: Pearson Education, Inc.
- TissueStory. (2018). Crescent Former, or Conventional, Tissue Machine Technology. Retrieved September 25, 2018, from <http://www.tissuestory.com/2017/09/09/crescent-former-or-conventional-tissue-machine-technology/>
- Toze, S. (2006). Reuse of effluent water - Benefits and risks. *Agricultural Water Management*, 80(1-3 SPEC. ISS.), 147–159. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2005.07.010>
- U.S. EPA. (2002). *Profile Of The Pulp And Paper Industry*. Washington, D.C.
- U.S. EPA. (2012). *Guidelines for Water Reuse*. Washington, D.C.
- UNESCO. (2009). *Water in a Changing World. UN World Water Assessment Program*. Paris. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.126.1.78>
- Van Houtte, E., & Verbauwheide, J. (2008). Operational experience with indirect potable reuse at the Flemish Coast. *Desalination*, 218(1–3), 198–207. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2006.08.028>
- Vepsäläinen, M., Kivisaari, H., Pulliainen, M., Oikari, A., & Sillanpää, M. (2011). Removal of toxic pollutants from pulp mill effluents by electrocoagulation. *Separation and Purification*

- Technology*, 81(2), 141–150. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2011.07.017>
- Virkutyte, J. (2017). Aerobic Treatment of Effluents From Pulp and Paper Industries. In D.-J. Lee, V. Jegatheesan, H. H. Ngo, P. C. Hallenbeck, & A. Pandey (Eds.), *Current Developments in Biotechnology and Bioengineering: Biological Treatment of Industrial Effluents* (pp. 103–130). Cincinnati: Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63665-2.00004-7>
- Younas, T., Bano, N., Zafar, W., & Qadir, U. (2019). Wastewater treatment method selection for pulp and paper industry. *International Conference on Frontiers of Information Technology*, 350–354. <https://doi.org/10.1109/FIT.2018.00068>

Anexos

Anexo I – Equilíbrio calco-carbónico

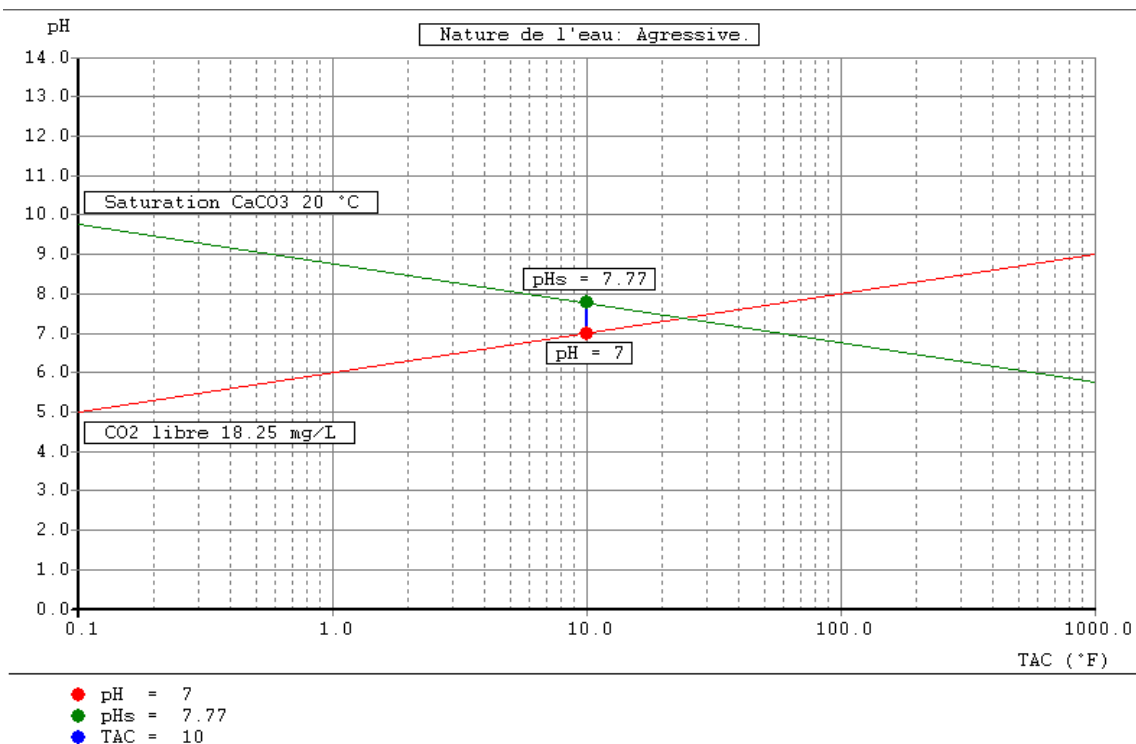


Figura I.1 | Representação gráfica da qualidade da água limite exida para as máquinas de papel e pasta química

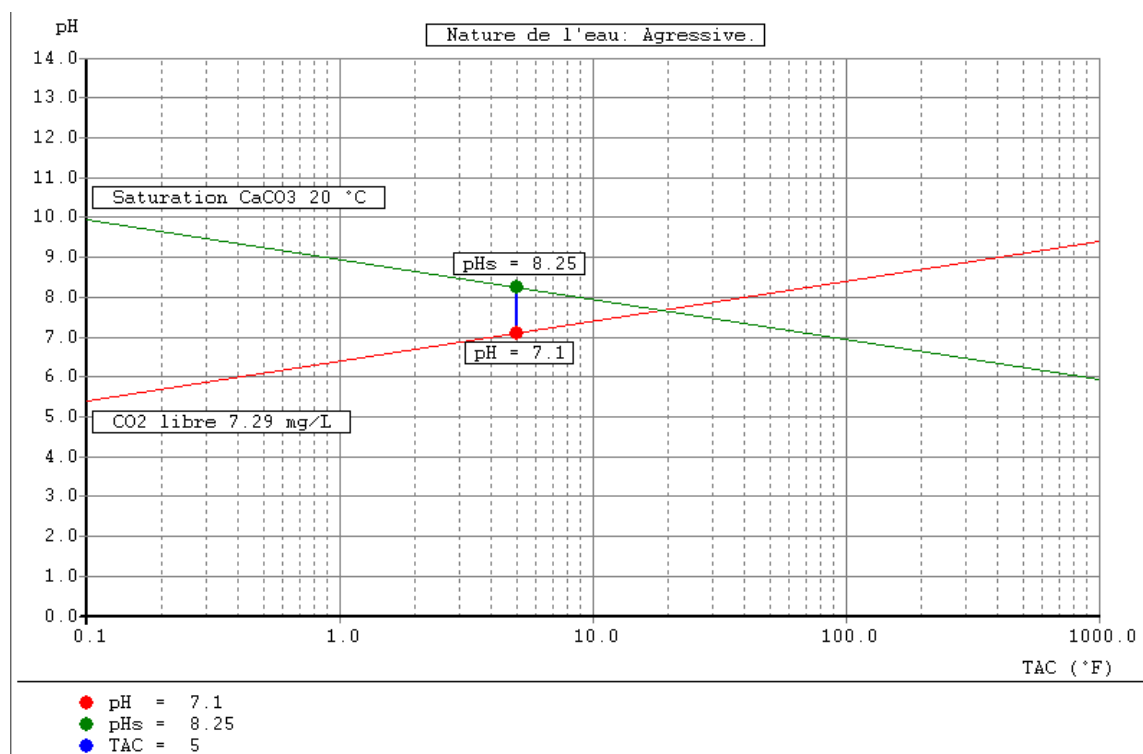


Figura I.2 | Representação gráfica da qualidade da água fresca da NTR

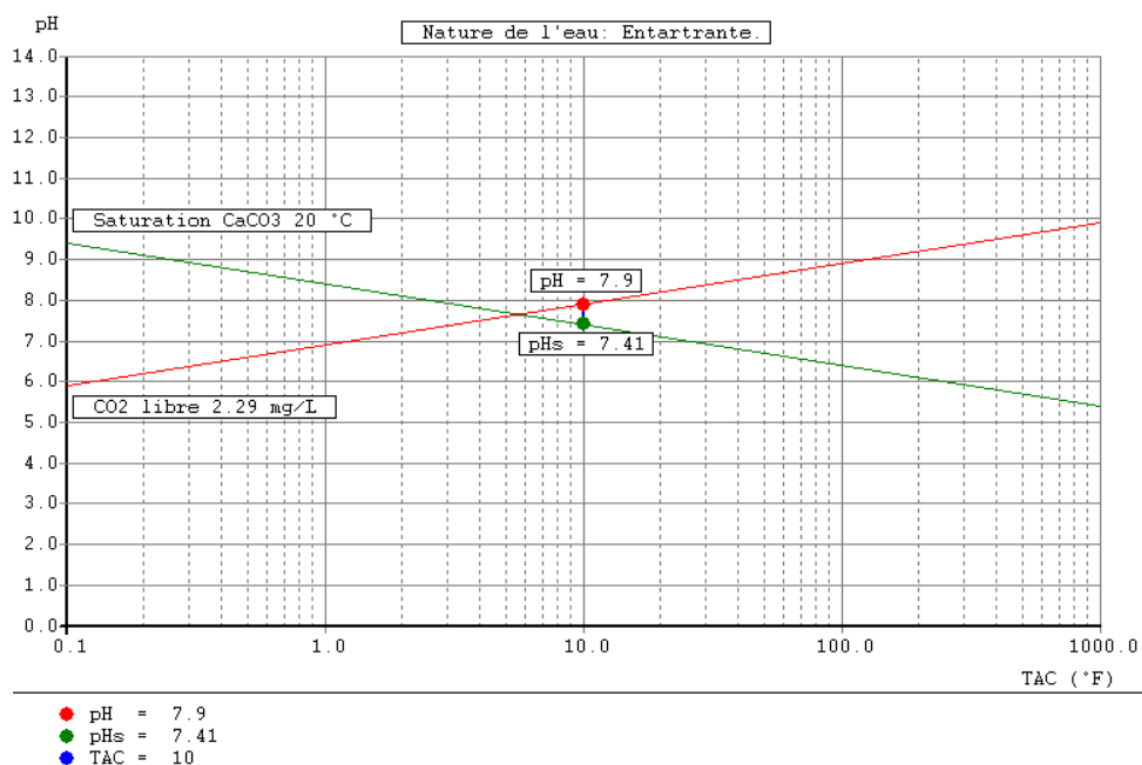


Figura 1.3 | Representação gráfica da qualidade da água fresca da NPS

Anexo II – LURH NTR

Tabela II.1 | Quadro nº3, do Anexo I, do Decreto-Lei n.º 152/97 de 19 de junho, 1997

Amostras colhidas durante um ano	Número máximo de amostras que poderão não ser conformes
4 - 7	1
8 - 16	2
17 - 28	3
29 - 40	4
41 - 53	5
54 - 67	6
68 - 81	7
82 - 95	8
96 - 110	9
111 - 125	10
126 - 140	11
141 - 155	12
156 - 171	13
172 - 187	14
188 - 203	15
204 - 219	16
220 - 235	17
236 - 251	18
252 - 268	19
269 - 284	20
285 - 300	21
301 - 317	22
318 - 334	23
335 - 350	24
351 - 365	25

Anexo III – NTR

Fotografias da ETARI



Figura III.1 | Gradagem e tamisação



Figura III.2 | Tubo flocculador



Figura III.3 | Flotação primária por ar dissolvido



Figura III.4 | Meio de enchimento dos tanques do MBBR

Evolução da qualidade do efluente tratado da NTR

CQO

Nas figuras III.1 e III.2 apresenta-se a evolução da concentração da CQO, em mg/L e em kg/dia ao longo do tempo, bem como da carga específica.

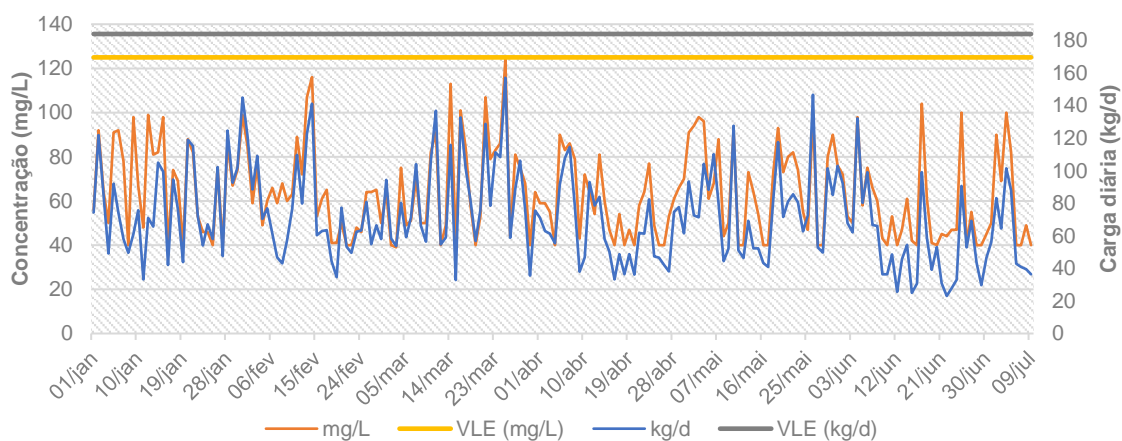


Figura III.5 | Valores de concentração, carga diária e respetivos VLE de CQO ao longo do primeiro semestre de 2018.

Da análise da figura anterior importa referir o seguinte:

- Relativamente à LURH atual, cujo VLE expresso em concentração é de 170 mg O_2 /L, não ocorreram quaisquer situações de incumprimento, bem como no que se refere ao VLE expresso em carga (250 kg O_2 /d);
- No que se refere à LURH futura (VLE expresso em concentração - 125 mg O_2 /L; VLE expresso em carga - 184 kg O_2 /d), a situação é idêntica, isto é, também não ocorreram quaisquer situações de incumprimento.

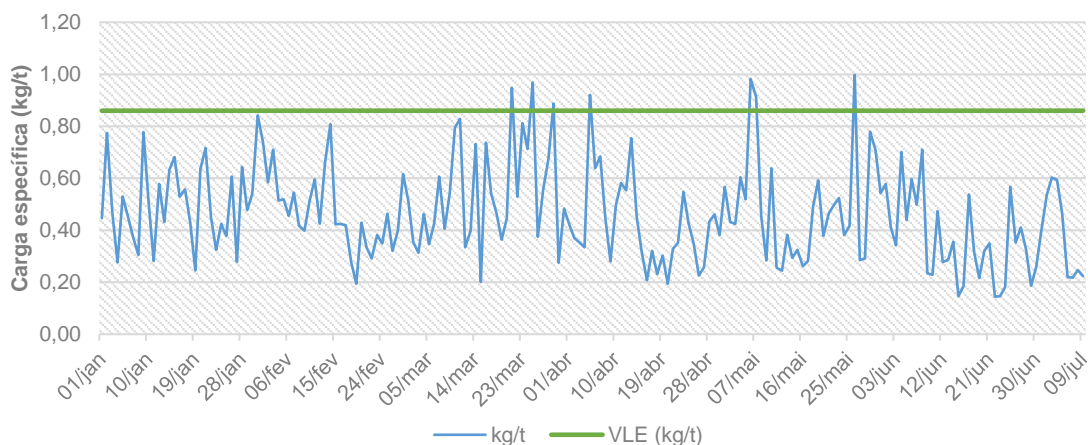


Figura III.6 | Valores de carga específica e respetivo VLE de CQO ao longo do primeiro semestre de 2018.

Da análise da figura anterior importa referir o seguinte:

- Relativamente à LURH atual, cujo VLE é de 0,96 kg O₂/t (valor médio anual), ocorreram três situações em que a carga específica é superior a este valor.
- Relativamente à LURH futura, cujo VLE é de 0,86 kg O₂/t (valor médio anual), ocorreram sete situações em que a carga específica é superior a este valor;
- A média correspondente ao período em análise foi de 0,46 kg/t.

SST

Nas figuras III.3 e III.4 apresenta-se a evolução da concentração da SST, em mg/L e em kg/dia ao longo do tempo, bem como da carga específica.

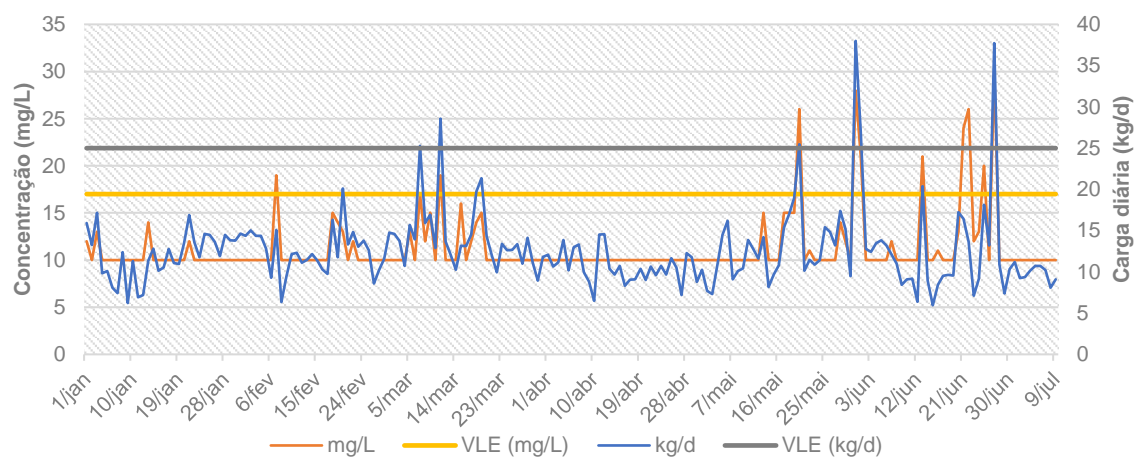


Figura III.7 | Valores de concentração, carga diária e respetivos VLE de SST ao longo do primeiro semestre de 2018.

Da análise da figura anterior importa referir o seguinte:

- Relativamente à LURH atual, cujo VLE expresso em concentração é de 32 mg SST/L, não ocorreram quaisquer situações de incumprimento, bem como no que se refere ao VLE expresso em carga (47 kg SST/d);

- Relativamente à LURH futura, cujo VLE expresso em concentração é de 17 mg O₂/L, ocorreram 9 situações em que aquela concentração é ultrapassada. Por outro lado, relativamente ao VLE expresso em carga (25 kg SST/d), ocorreram 6 situações em que a carga ultrapassa o valor estabelecido.

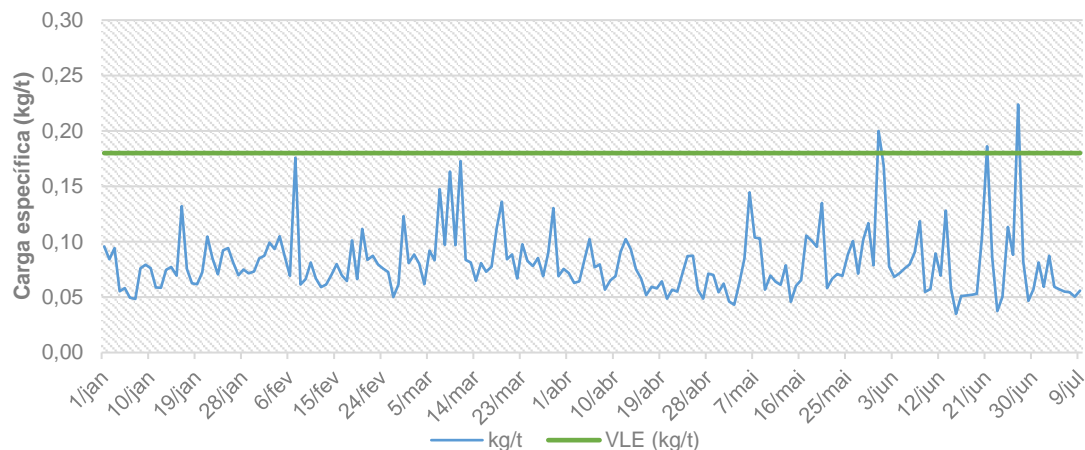


Figura III.8 | Valores de carga específica e respetivo VLE de SST ao longo do primeiro semestre de 2018.

Da análise da figura anterior importa referir o seguinte:

- Relativamente à LURH atual, cujo VLE é de 0,2 kg SST/t, ocorreu uma situação em que a carga específica é superior a este valor;
- Relativamente à LURH futura, cujo VLE é de 0,18 kg SST/t, ocorreram três situações em que a carga específica é superior a este valor;
- A média correspondente ao período em análise foi de 0,08 kg/t.

Azoto total

Nas figuras III.5 e III.6 apresenta-se a evolução da concentração da CQO, em mg/L e em kg/dia ao longo do tempo, bem como da carga específica.

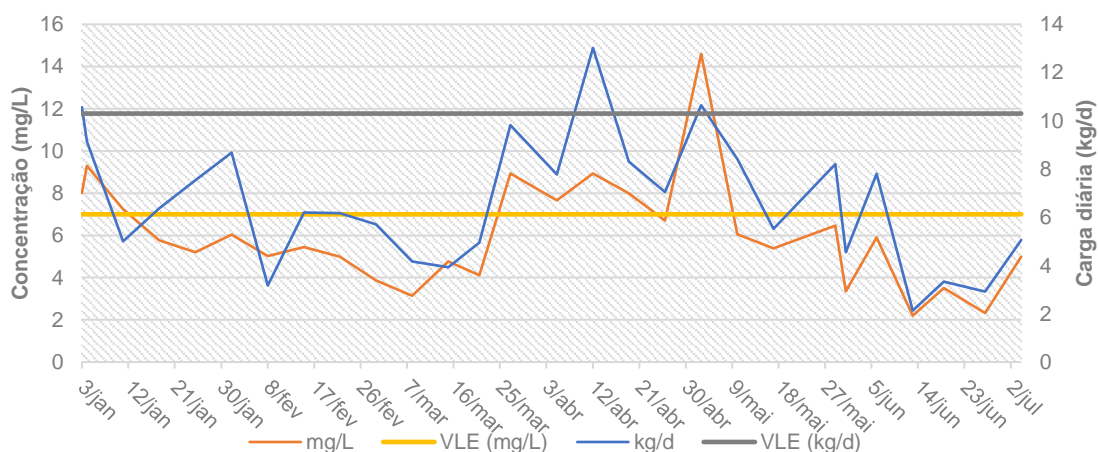


Figura III.9 | Valores de concentração, carga diária e respetivos VLE de Nt ao longo do primeiro semestre de 2018.

Da análise da figura anterior importa referir o seguinte:

- Relativamente à LURH atual, cujo VLE expresso em concentração é de 9 mg N/L, ocorreram duas situações em que aquela concentração é ultrapassada. Por outro lado, relativamente ao VLE expresso em carga (13,2 kg N/d), ocorreu uma situação de incumprimento.
- Relativamente à LURH futura, cujo VLE expresso em concentração é de 7 mg N/L, ocorreram 8 situações em que aquela concentração é ultrapassada e relativamente ao VLE expresso em carga (10,3 kg N/d), ocorreram três situações em que a carga ultrapassa o valor estabelecido.

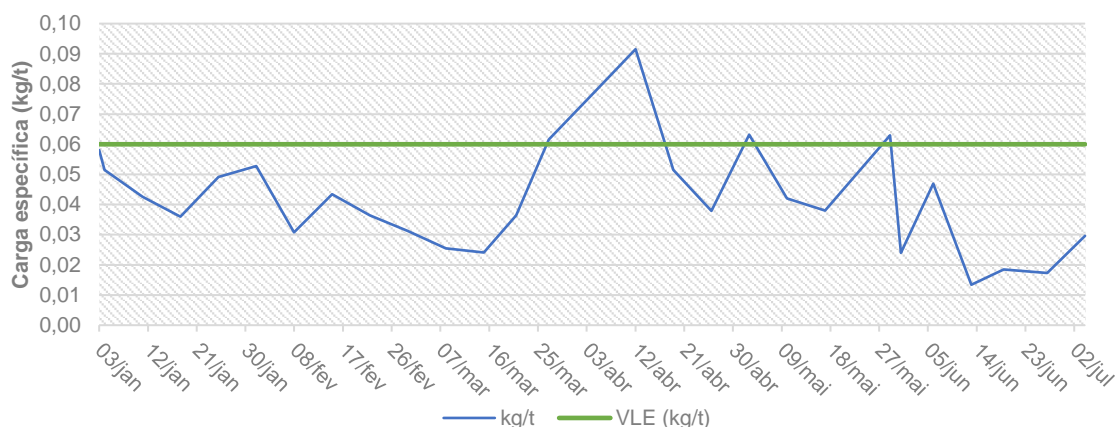


Figura III.10 | Valores de carga específica e respetivo VLE de Nt ao longo do primeiro semestre de 2018.

Da análise da figura anterior importa referir o seguinte:

- Relativamente à LURH atual, cujo VLE é de 0,07 kg N/t, ocorreu uma situação em que a carga específica é superior a este valor;
- Relativamente à LURH futura, cujo VLE é de 0,06 kg N/t, ocorreram três situações em que a carga específica é superior a este valor;
- A média correspondente ao período em análise foi de 0,04 kg/t.

Fósforo total

Nas figuras III.7 e III.8 apresenta-se a evolução da concentração de Fósforo, em mg/L e em kg/dia ao longo do tempo, bem como da carga específica.

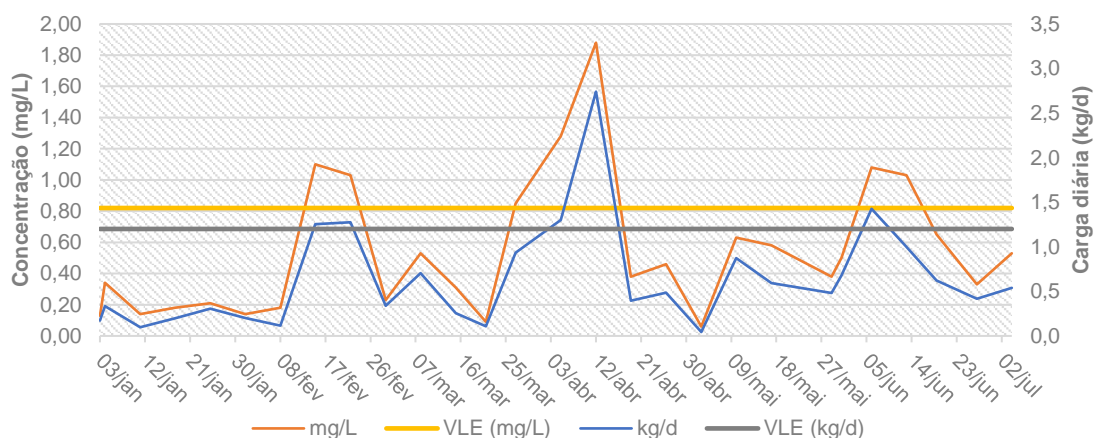


Figura III.11 | Valores de concentração, carga diária e respetivos VLE de Pt ao longo do primeiro semestre de 2018.

Da análise da figura anterior importa referir o seguinte:

- Relativamente à LURH atual, cujo VLE expresso em concentração é de 1 mg P/L, ocorreram 6 situações em que aquela concentração é ultrapassada. Por outro lado, relativamente ao VLE expresso em carga (1,5 kg P/d), ocorreu uma situação de incumprimento.
- Relativamente à LURH futura, cujo VLE expresso em concentração é de 0,82 mg P/L, ocorreram 7 situações em que aquela concentração é ultrapassada. Por outro lado, relativamente ao VLE expresso em carga (1,2 kg P/d), ocorreram 5 em que a carga ultrapassa o valor estabelecido.

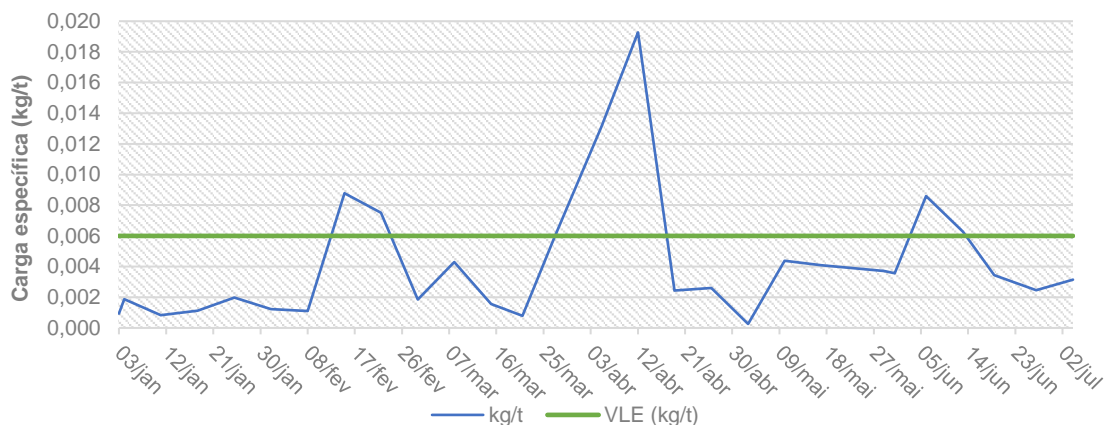


Figura III.12 | Valores de carga específica e respetivo VLE de Pt ao longo do primeiro semestre de 2018.

Da análise da figura anterior importa referir o seguinte:

- Relativamente à LURH atual, cujo VLE é de 0,007 kg P/t, ocorreram cinco situações em que a carga específica é superior a este valor;
- Relativamente à LURH futura, cujo VLE é de 0,006 kg N/t, ocorreram 6 situações em que a carga específica é superior a este valor;
- A média correspondente ao período em análise foi de 0,004 kg/t.

Anexo IV – NPS

Fotografias da ETAR1



Figura IV.1 | Órgãos da ETAR1: A – Decantador primário retangular com raspador de fundo. B – Reator Biológico. C – Decantador secundário circular com raspador de fundo.

Fotografias da ETAR2



Figura IV.2 | Órgãos da ETAR 2: A – Decantador primário circular com raspador de fundo. B – Primeira célula do SBR. C – SBR: Primeira célula, à esquerda; e segunda célula, à direita.

Evolução da qualidade do efluente tratado da ETAR1

CQO

Na figura seguinte apresenta-se a evolução da carga de CQO, em kg/dia ao longo do tempo, bem como a variação do VLE.

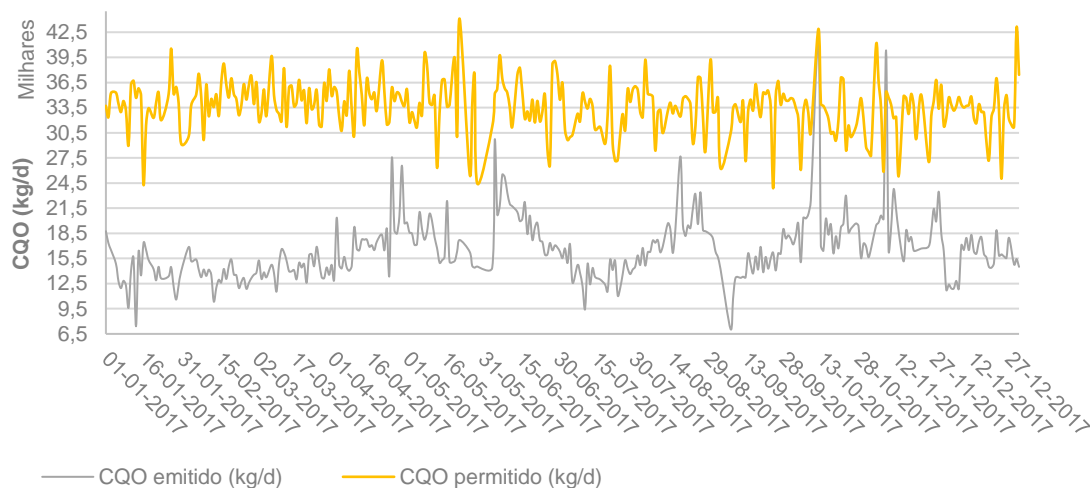


Figura IV.3 | Valores de carga diária e respetivo VLE de CQO, para a ETAR1 ao longo 2017.

Da análise da figura anterior importa referir o seguinte:

- Ocorreu apenas uma situação em que a carga diária é superior ao valor permitido pela equação 7.1.

SST

Na figura seguinte apresenta-se a evolução da carga de SST, em kg/dia ao longo do tempo, bem como a variação do VLE.

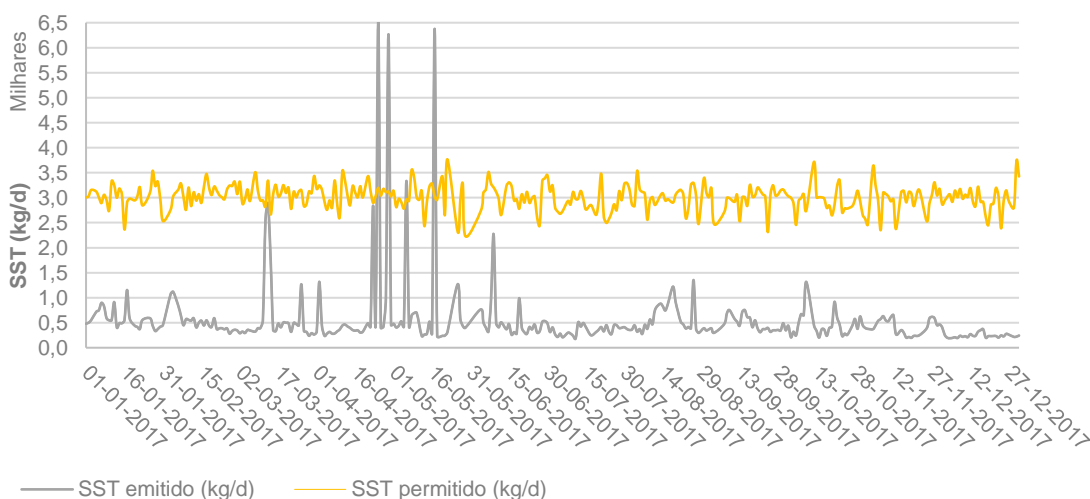


Figura IV.4 | Valores de carga diária e respetivo VLE de SST, para a ETAR1 ao longo 2017.

Da análise da figura anterior importa referir o seguinte:

- Ocorreram quatro situações em que a carga diária é superior ao valor permitido pela equação 7.1, sendo que em três foi ultrapassado o dobro do VLE permitido.

CBO₅

Na figura seguinte apresenta-se a evolução da concentração de CBO₅, em mg/L e em kg/mês ao longo do tempo, bem como a variação do VLE em carga.

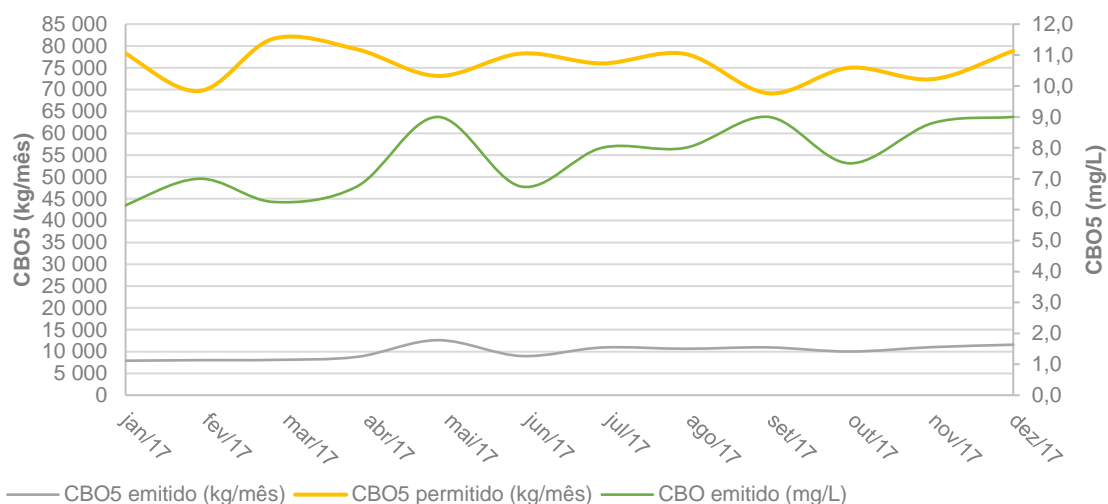


Figura IV.5 | Valores de concentração, carga mensal e respetivo VLE em carga de CBO₅, para a ETAR1 ao longo 2017.

Da análise da figura anterior importa referir o seguinte:

- Não ocorreu nenhuma situação em que a carga mensal é superior ao VLE estipulado pela equação 7.1.

AOX

Na figura seguinte apresenta-se a evolução da concentração da AOX, em mg/L e em kg/mês ao longo do tempo, bem como a variação do VLE em carga.

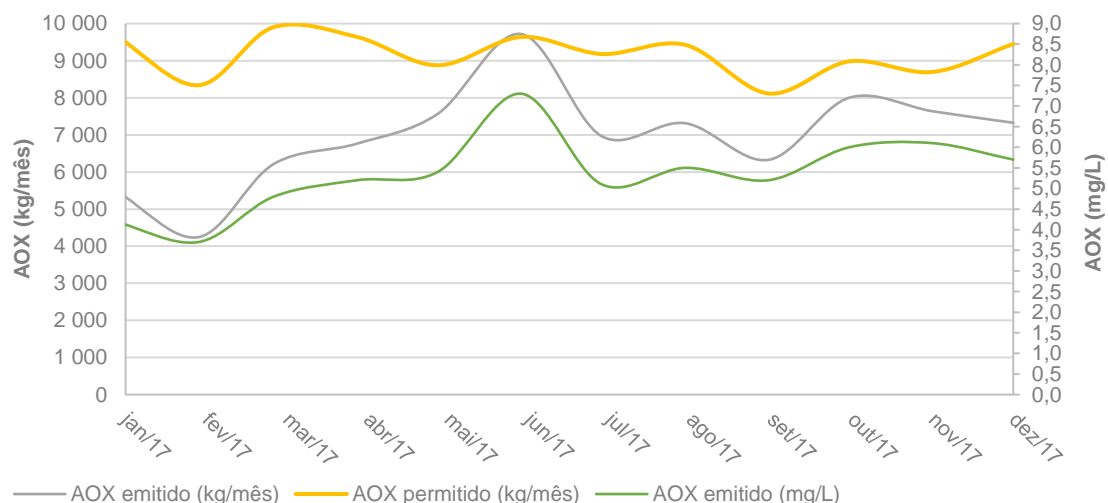


Figura IV.6 | Valores de concentração, carga mensal e respetivo VLE em carga de AOX, para a ETAR1 ao longo 2017.

Da análise da figura anterior importa referir o seguinte:

- Ocorreu apenas uma situação em que a carga mensal é superior ao valor permitido pela equação 7.1.

Azoto total

Na figura seguinte apresenta-se a evolução da concentração de Azoto total, em mg/L e em kg/mês ao longo do tempo, bem como a variação do VLE em carga.

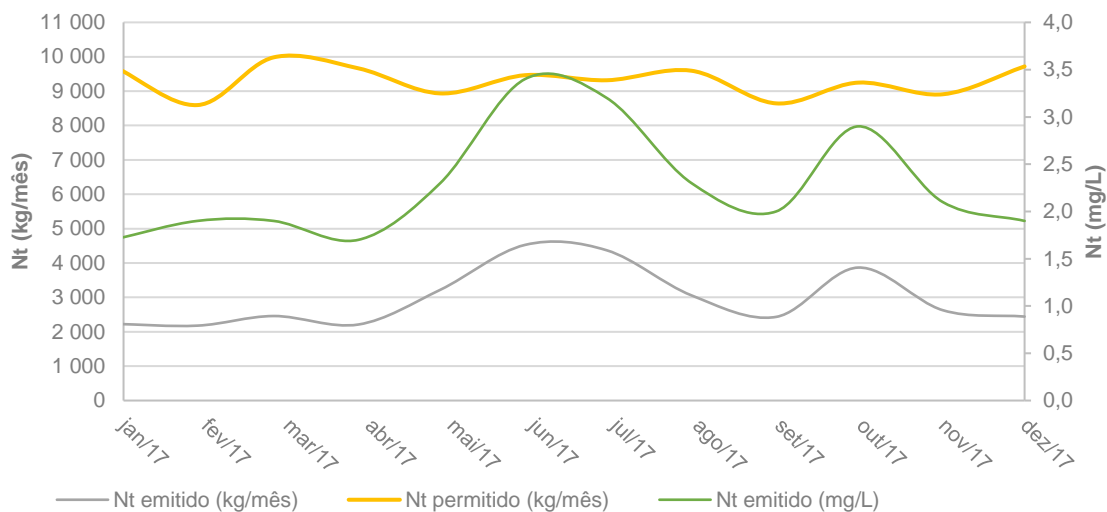


Figura IV.7 | Valores de concentração, carga mensal e respetivo VLE em carga de Azoto total, para a ETAR1 ao longo 2017.

Da análise da figura anterior importa referir o seguinte:

- Não ocorreu nenhuma situação em que a carga mensal é superior ao VLE estipulado pela equação 7.1.

Fósforo total

Na figura seguinte apresenta-se a evolução da concentração de Azoto total, em mg/L e em kg/mês ao longo do tempo, bem como a variação do VLE em carga.

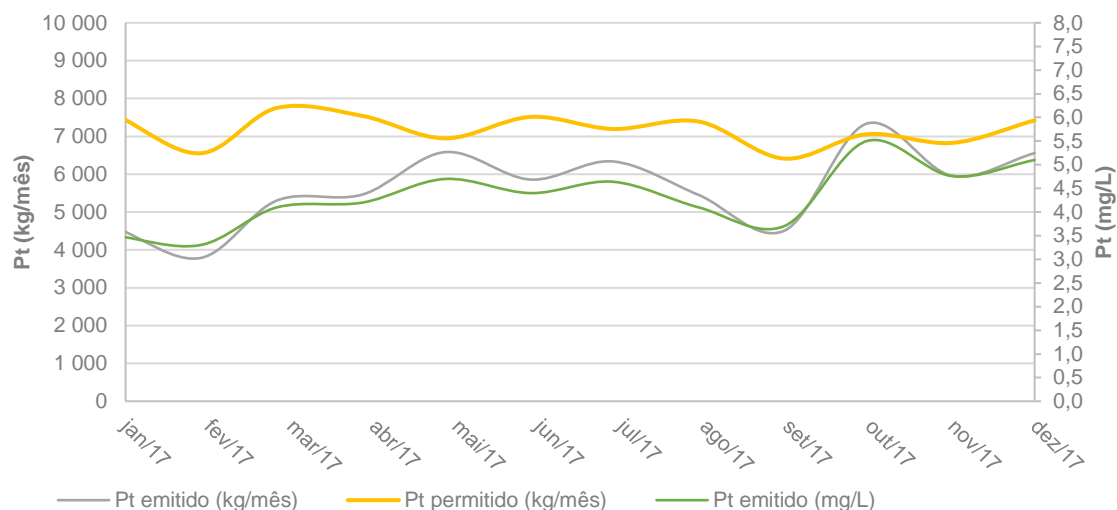


Figura IV.8 | Valores de concentração, carga mensal e respetivo VLE em carga de Fósforo total, para a ETAR1 ao longo 2017.

Da análise da figura anterior importa referir o seguinte:

- Ocorreu apenas uma situação em que a carga mensal é superior ao valor permitido pela equação 7.1.

Evolução da qualidade do efluente tratado da ETAR2

CQO

Na figura seguinte apresenta-se a evolução da concentração de CQO, em carga específica ao longo do tempo, bem como o respetivo VLE.

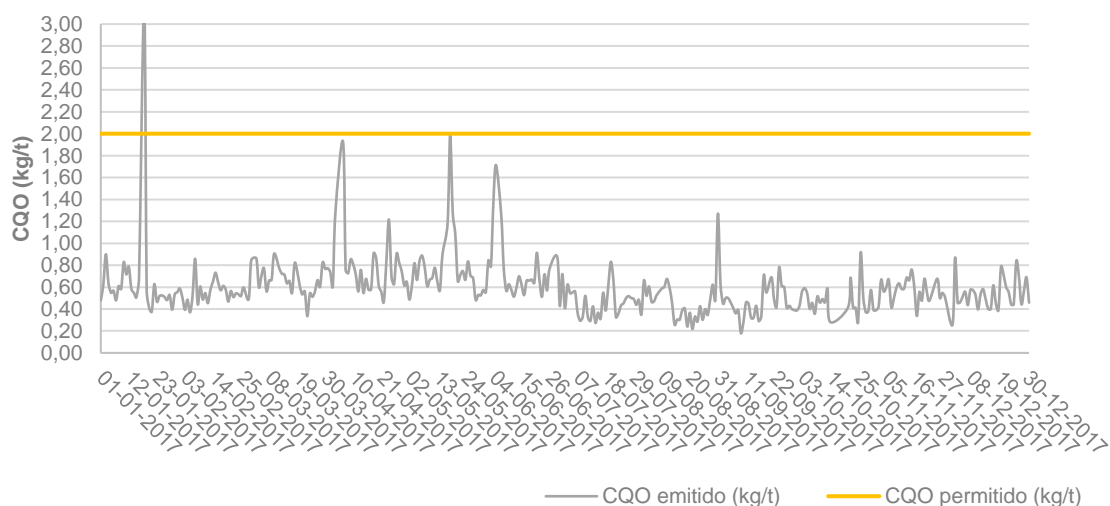


Figura IV.9 | Valores de carga específica e respetivo VLE de CQO, para a ETAR2 ao longo 2017.

Da análise da figura anterior importa referir o seguinte:

- Relativamente à Licença Ambiental, cujo VLE é de 2 kg O₂/t (valor médio anual), ocorreu uma situação em que a carga específica é superior a este valor.

SST

Na figura seguinte apresenta-se a evolução da concentração de SST, em carga específica ao longo do tempo, bem como o respetivo VLE.

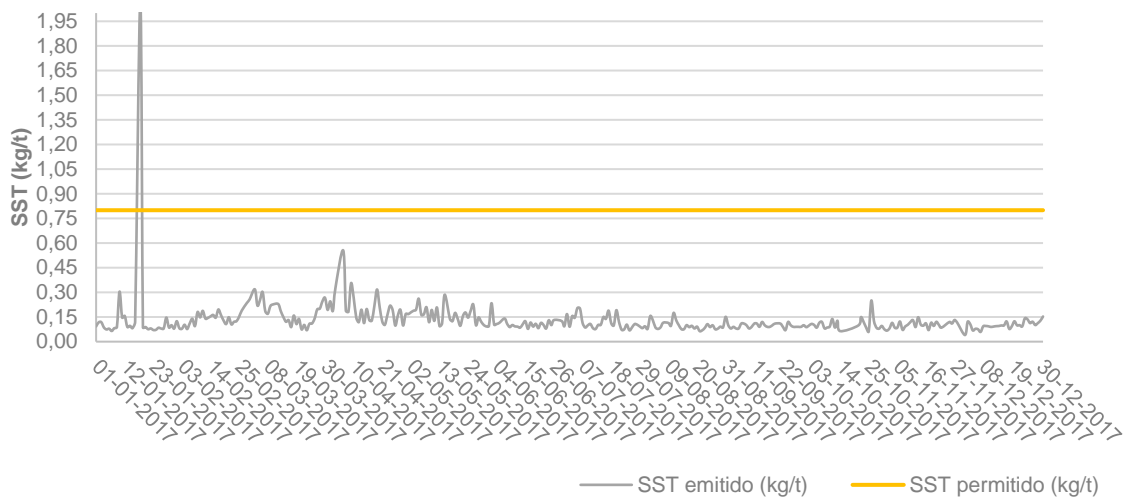


Figura IV.10 | Valores de carga específica e respetivo VLE de SST, para a ETAR2 ao longo 2017.

Da análise da figura anterior importa referir o seguinte:

- Relativamente à Licença Ambiental, cujo VLE é de 0,8 kg SST/t (valor médio anual), ocorreu uma situação em que a carga específica é superior a este valor.

CBO₅

Na figura seguinte apresenta-se a evolução da concentração da CBO₅, em mg/L e em kg/t ao longo do tempo, bem como o respetivo VLE em carga específica.

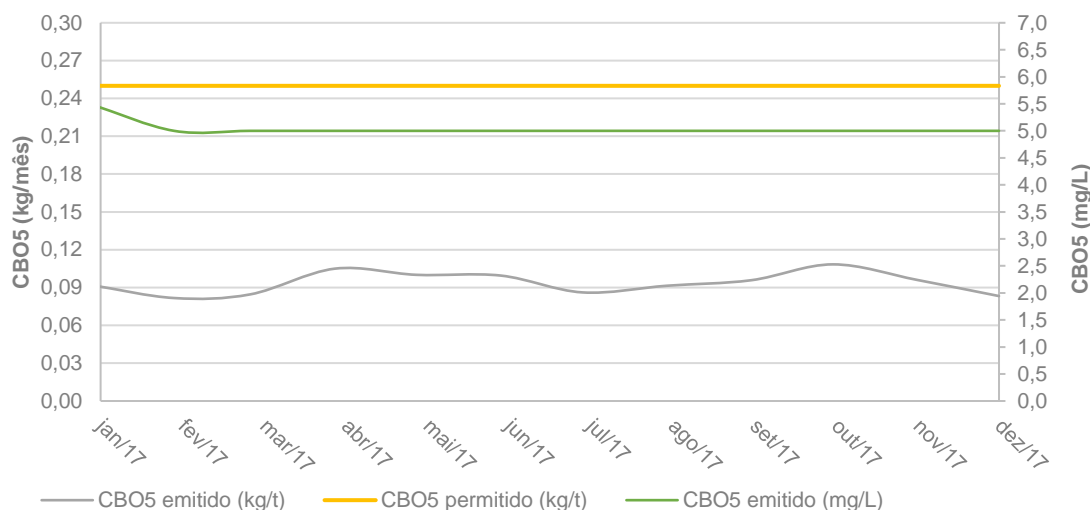


Figura IV.11 | Valores de carga específica e respetivo VLE de CBO₅, e concentração, para a ETAR2 ao longo 2017.

Da análise da figura anterior importa referir o seguinte:

- Relativamente à Licença Ambiental, cujo VLE é de 0,25 kg O₂/t (valor médio anual), não ocorreram situações em que a carga específica é superior a este valor;
- A concentração de CBO₅ é estável ao longo do ano.

AOX

Na figura seguinte apresenta-se a evolução da concentração da AOX, em mg/L e em kg/t ao longo do tempo, bem como o respetivo VLE em carga específica.

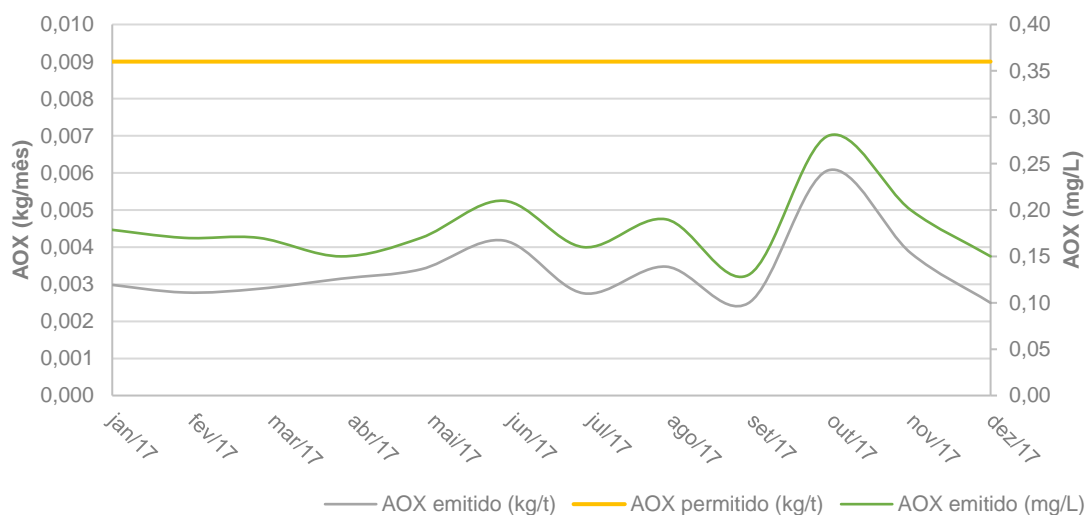


Figura IV.12 | Valores de carga específica e respetivo VLE de AOX, e concentração, para a ETAR2 ao longo 2017.

Da análise da figura anterior importa referir o seguinte:

- Relativamente à Licença Ambiental, cujo VLE é de 0,009 kg O₂/t (valor médio anual), não ocorreram situações em que a carga específica é superior a este valor.

Azoto total

Na figura seguinte apresenta-se a evolução da concentração da Azoto total, em mg/L e em kg/t ao longo do tempo, bem como o respetivo VLE em carga específica.

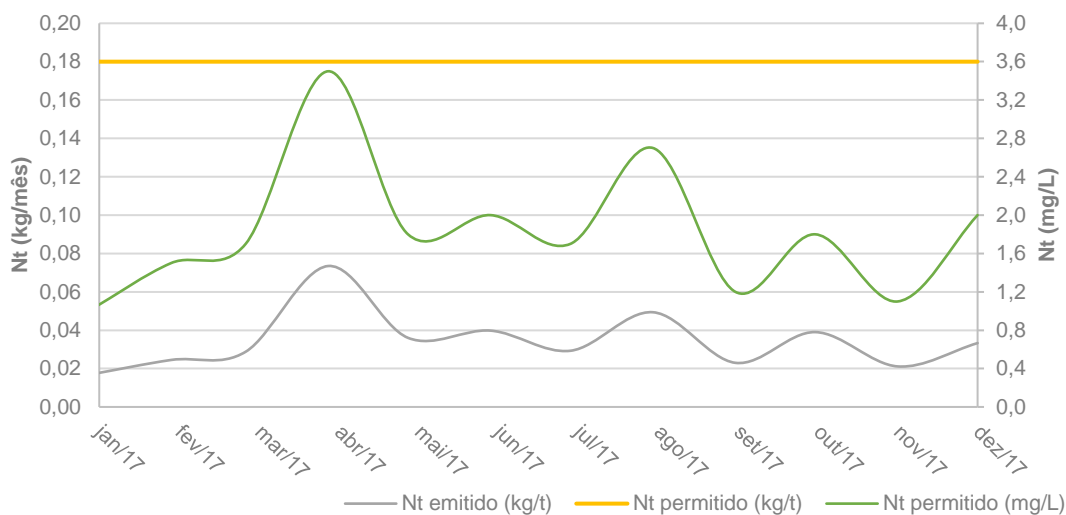


Figura IV.13 | Valores de carga específica e respetivo VLE de Nt, e concentração, para a ETAR2 ao longo 2017.

Da análise da figura anterior importa referir o seguinte:

- Relativamente à Licença Ambiental, cujo VLE é de 0,18 kg O₂/t (valor médio anual), não ocorreram situações em que a carga específica é superior a este valor.

Fósforo total

Na figura seguinte apresenta-se a evolução da concentração da Fósforo total, em mg/L e em kg/t ao longo do tempo, bem como o respetivo VLE em carga específica.

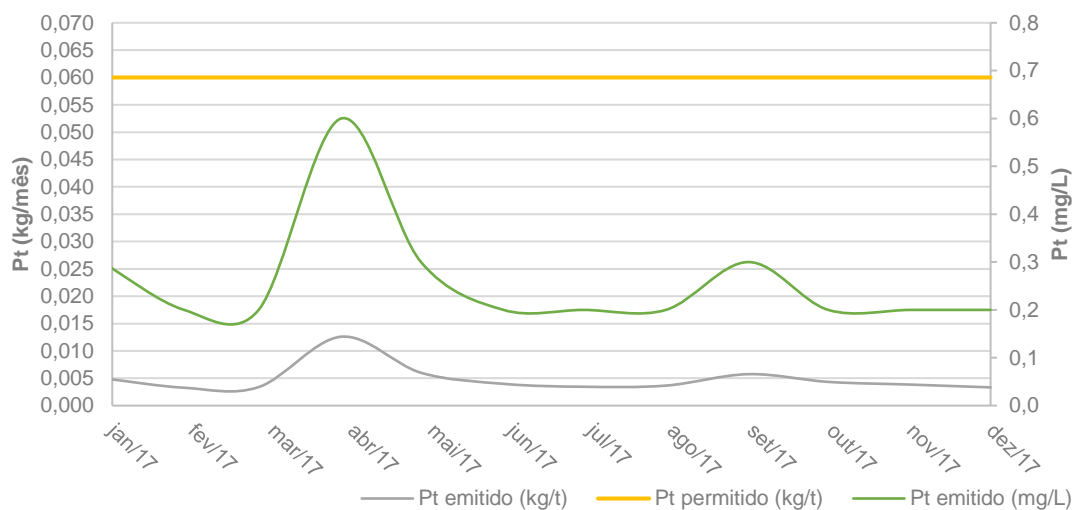


Figura IV.14 | Valores de carga específica e respetivo VLE de Pt, e concentração, para a ETAR2 ao longo 2017.

Da análise da figura anterior importa referir o seguinte:

- Relativamente à Licença Ambiental, cujo VLE é de 0,06 kg O₂/t (valor médio anual), não ocorreram situações em que a carga específica é superior a este valor.